

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

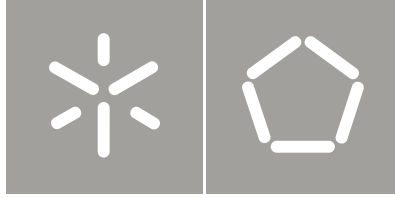
Diana Rafaela Freitas

Fatores que influenciam  
a evacuação de edifícios

Diana Rafaela Freitas  
Fatores que influenciam  
a evacuação de edifícios

UMinho | 2012

Abril de 2012



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Diana Rafaela Freitas

Fatores que influenciam  
a evacuação de edifícios

Tese de Mestrado  
Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor Pedro Arezes

## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta dissertação de Mestrado não teria sido possível sem a ajuda e o apoio de várias pessoas a quem quero prestar os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, o Doutor Pedro Arezes, por toda a disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e ajuda prestada no decorrer deste projeto.

Obrigada a todos os colaboradores da Kyaia, por toda a disponibilidade mostrada, paciência e simpatia, em especial ao Engenheiro Luís Gonçalves. Sem ele este projeto não teria sido possível. Obrigada também à IES, por me disponibilizar uma versão *trial* do Simulex.

Aos meus pais, pois sem eles tudo isto não teria sido possível e ao meu irmão, Miguel, um agradecimento especial, por estar sempre do meu lado a apoiar-me e motivar-me sempre que necessário. Também gostaria de agradecer à Ana pela ajuda neste trabalho, e noutros já passados.

Finalmente, agradeço ao meu namorado, Luís, e aos meus amigos que sempre me ajudaram, apoiaram e motivaram nos momentos mais difíceis.

## RESUMO

Num incêndio, a segurança dos ocupantes de um edifício pode, em último recurso, depender da evacuação de emergência. É, por isso, fundamental a existência de um plano de emergência bem definido e bem detalhado.

Esta dissertação tem como objetivo a organização da evacuação em caso de emergência numa empresa do ramo do calçado, para o edifício com a configuração atual e para uma outra configuração, com alterações do *layout* do edifício, com o propósito de analisar alguns fatores que possam influenciar e melhorar o tempo de evacuação.

Foi elaborado um plano de evacuação para a planta atual da empresa e outro para uma proposta de modificação da estrutura do edifício e efetuadas várias simulações num *software* de simulação, designado por Simulex.

Nas simulações foram consideradas várias variáveis como a distância ao ponto de encontro, a distribuição de pessoas pelas várias saídas de emergência, a largura das vias de evacuação, horizontais e verticais e também o tempo de pré-evacuação.

Após quatro simulações no programa em diferentes situações foi possível concluir-se que o tempo de evacuação de um edifício não depende apenas da distância percorrida, mas de um conjunto de fatores relacionados com o edifício, como por exemplo a largura das vias de evacuação e a existência de escadas, bem como com a distribuição de pessoas pelos caminhos de evacuação.

Foram também detetados erros na distribuição de pessoas pelas saídas no planeamento da emergência para planta com a configuração atual mas foi notória uma melhoria significativa quando se acrescenta um novo conjunto de escadas e se reorganiza a emergência.

Por fim, concluiu-se que os tempos de evacuação obtidos com o cálculo através de uma expressão teórica são sensivelmente mais elevados que os obtidos na simulação e os grupos de pessoas formados para a organização da evacuação que precisam de mais tempo para abandonar o edifício também não coincidem. Este facto pode ocorrer devido a diferentes velocidades de marcha assumidos na simulação.

**Palavras-chave:** Plano de emergência, evacuação, simulação, Simulex.

## ***ABSTRACT***

In a fire, occupant's security in a building can depend on an emergency evacuation. Therefore the existence of a well-marked and detailed emergency's plan is fundamental.

This thesis's goal is to organize an evacuation in an emergency in a company in the footwear industry, to the building with the actual configuration and to another one, with changings in the layout, with the purpose of analyze some factors that may interfere and improve the evacuation time.

An evacuation plan was made to the actual design and another to a structure modification proposal and several simulations were made on a simulation software, called Simulex.

In the simulation, several variables were considered, such as the distance to the meeting point, the distribution of people through the multiple emergency exits, the evacuation path width, both horizontal and vertical, as well as the pre-evacuation time.

After four simulations in different situations, it was possible to conclude that the evacuation time does not depend only on the distance, but also on a set of factors related to the building, as, for example, the evacuation path width and the existence of stairs, as well as the people distribution by the emergency paths.

In the emergency planning for the actual layout were found mistakes in the distribution of people through the exits, but a significant improvement was notorious when added a new set of stairs and the emergency is reorganized.

It was conclude that the evacuation times obtained using a theoretical expression were higher than those obtained in the simulation and the people groups that need more time to leave the building do not match as well. This may happen due to different walking velocities assumed in simulation.

**Keywords:** emergency plan, evacuation, simulation, Simulex.

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	IV
<i>Abstract</i> .....	V
Índice de Figuras .....	VIII
Índice de Tabelas .....	X
1. Introdução .....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Organização da dissertação.....	2
Parte I - Revisão Bibliográfica .....	3
2. Evacuação de um edifício.....	4
2.1 Fatores que influenciam a evacuação .....	5
2.1.1 Características físicas do edifício .....	6
2.1.2 Características comportamentais humanas .....	7
2.1.3 Características psicológicas.....	9
2.1.4 Características do fogo.....	10
2.2 Importância da formação da área da evacuação .....	11
2.2.1 Planos de intervenção .....	12
2.2.2 Simulacros de evacuação.....	13
3. Simuladores informáticos de evacuação de edifícios.....	15
3.1 Características dos diferentes modelos .....	15
3.1.1 Natureza da modelação .....	15
3.1.2 Representação do espaço .....	16
3.1.3 Representação da população.....	17
3.1.4 Perspetiva comportamental.....	17

3.1.5	Tipo de movimentação .....	19
3.1.6	Informação das condições de fogo .....	20
3.1.7	CAD.....	21
3.1.8	Visualização .....	21
3.1.9	Validação .....	21
3.2	Modelos existentes .....	21
Parte II – Trabalho efetuado.....		26
4.	Elaboração do plano de evacuação .....	27
4.1	Descrição da empresa.....	27
4.2	Plano de evacuação .....	28
4.3	Previsão do tempo de evacuação.....	30
5.	Metodologia de simulação.....	34
5.1	Ferramenta de simulação .....	35
5.2	Definição do edifício .....	37
5.3	Cálculo do mapa de distâncias .....	41
5.4	Distribuição de pessoas.....	41
5.5	Simulação .....	46
6.	Análise e discussão dos resultados .....	49
6.1	Análise da utilização das rotas de evacuação .....	49
6.2	Comparação dos tempos de evacuação obtidos.....	57
6.2.1	Planta atual .....	57
6.2.2	Planta modificada .....	58
6.3	Comparação dos tempos de evacuação teóricos com os obtidos na simulação.....	59
7.	Conclusão .....	61
Bibliografia .....		63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fatores que influenciam a resposta ao fogo.....	6
Figura 2: Esquema simplificado de um plano de intervenção em caso de incêndio .....	12
Figura 3: Edifício da Kyaia .....	27
Figura 4: Vista aérea do edifício da Kyaia .....	27
Figura 5: Distribuição de responsabilidades em caso de incêndio .....	30
Figura 6: Características do Simulex .....	36
Figura 7: Ecrã de entrada no Simulex.....	37
Figura 8: Ecrã do Simulex - Pisos, escadas e links.....	38
Figura 9: Ecrã do Simulex – Exemplo de um mapa de distâncias.....	41
Figura 10: Definição do "Corpo" no Simulex.....	42
Figura 11: Ecrã do Simulex - Definição das características dos ocupantes.....	43
Figura 12: Ecrã do Simulex - Distribuição de pessoas no piso menos um.....	44
Figura 13: Ecrã do Simulex - Distribuição de pessoas no piso zero.....	45
Figura 14: Ecrã do Simulex - Distribuição de pessoas no primeiro piso .....	45
Figura 15: Ecrã do Simulex - Distribuição de pessoas no segundo piso .....	46
Figura 16: Relação entre a velocidade de marcha e a distância entre pessoas.....	47
Figura 17: Ecrã do Simulex – Evacuação em movimento.....	47
Figura 18: Percentagem de utilizadores por cada rota .....	50
Figura 19: Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do segundo piso da planta atual.....	51
Figura 20: Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do primeiro piso da planta atual.....	52
Figura 21: Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do segundo piso da planta atual com plano de emergência .....	53
Figura 22: Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do primeiro piso da planta atual com plano de emergência .....	53
Figura 23: Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do segundo piso da planta modificada .....	54
Figura 24: Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do primeiro piso da planta modificada .....	55
Figura 25: Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do segundo piso da planta modificada com plano de emergência.....	56



Figura 26: Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do primeiro piso da planta modificada com plano de emergência.....	56
Figura 27: Evolução do número de pessoas que falta atingir o ponto de encontro nos testes efetuados na planta atual .....	57
Figura 28: Evolução do número de pessoas que falta atingir o ponto de encontro nos testes efetuados na planta modificada .....	59

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Tempos de pré-evacuação definidos na literatura .....	5
Tabela 2: Efeitos fisiológicos da diminuição da concentração de oxigénio.....	11
Tabela 3: Diferentes características dos modelos selecionados .....	24
Tabela 4: Localização e atividade da Kyaia.....	28
Tabela 5: Cálculo do tempo de evacuação teórico para o edifício nas condições atuais .....	32
Tabela 6: Cálculo do tempo de evacuação teórico para as alterações das condições do edifício .....	33
Tabela 7: Definições nas escadas inseridas no Simulex.....	39
Tabela 8: Escadas utilizadas nos diferentes testes efetuados.....	40
Tabela 9: Tamanho dos diferentes tipos de "Corpos" considerados pelo Simulex.....	42
Tabela 10: Distribuição de pessoas pelos diferentes pisos .....	43
Tabela 11: Tempos obtidos nos diferentes testes realizados .....	49
Tabela 12: Distribuição de pessoas pelos caminhos de evacuação .....	50
Tabela 13: Comparação dos resultados teóricos com os obtidos na simulação da evacuação da planta atual.....	59
Tabela 14: Comparação dos resultados teóricos com os obtidos com a simulação de evacuação da planta modificada.....	60

## **1. INTRODUÇÃO**

Os incêndios provocam, anualmente, enormes prejuízos e vítimas, quer por queimaduras e ferimentos, quer por intoxicação.

Os incêndios industriais são a principal ameaça às pessoas e à propriedade de qualquer organização, causando, a cada ano que passa, lesões, mortes ou prejuízos materiais. As estatísticas disponíveis apontam como causas mais frequentes dos incêndios as instalações elétricas, a utilização de chamas nuas em superfícies quentes, a presença inadequada de materiais inflamáveis, os aparelhos de aquecimento. Em Portugal, ocorreram, em média 1550 incêndios industriais por ano, entre os anos 1998 e 2003 (Silva, 2007). Estima-se que, em todo o mundo, 45% das empresas não voltam a abrir após um incêndio (Fergusson & Christopher, 2005).

Muitos destes incêndios acontecem como resultado de edificações antigas e com regras de construção deficientes, legislação confusa e dispersa, e uma enorme falta de cultura de segurança por parte dos cidadãos e das empresas. É, por isso, importante que as empresas procurem desenvolver uma cultura de segurança através de estratégias de prevenção e proteção contra incêndios. Esta prática requer o desenvolvimento e implementação de políticas e procedimentos para proteger os empregados e o edifício, protegendo, preparando situações de emergência e controlando fogos. Em suma, o objetivo é afastar a probabilidade de ocorrência de um incêndio mas, se a estratégia falhar, minimizar as consequências do fogo.

A segurança dos ocupantes de um edifício pode, em último recurso, depender da evacuação de emergência. É, por isso, fundamental a existência de um plano de emergência bem definido, bem detalhado e deve ser dada formação a todas as pessoas que normalmente o frequentam. Esta formação deve vir sempre acompanhada de um simulacro, para que os indivíduos possam experienciar a fuga e saibam quais os procedimentos a adotar numa situação de perigo real. No entanto, a evacuação não depende apenas da política de segurança, mas depende, primordialmente, do comportamento humano perante uma ameaça de incêndio. É necessário compreender como os seres humanos reagem perante a ameaça, e os restantes fatores que influenciam, de alguma maneira, a evacuação.

## **1.1 OBJETIVOS**

Esta dissertação tem como objetivo geral a organização da evacuação em caso de emergência numa empresa do ramo do calçado, para o edifício com a configuração atual do edifício e para uma outra configuração, com alterações do *layout* da estrutura, com o propósito de analisar alguns fatores que possam influenciar e melhorar o tempo de evacuação.

Tem também como objetivo a simulação dos casos em estudo, numa ferramenta computacional, de forma a testar a confiança dos planos de emergência elaborados.

Paralelamente, espera-se que com a simulação efetuada possa ser possível detetar erros na distribuição de pessoas pelos caminhos de evacuação e o estudo de fatores que possam influenciar o tempo de evacuação.

## **1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A atual tese centra-se sobre a evacuação de edifícios e fatores que a possam influenciar e está organizada seguindo uma ordem lógica, dividida em duas partes.

Na primeira parte é elaborada uma revisão da literatura existente onde são abordados vários temas relacionados com a segurança de evacuação em edifícios.

No segundo capítulo, é abordada a evacuação de edifícios, revendo quais os fatores com influência direta na fuga em caso de emergência e é lembrada a importância da formação dos ocupantes de uma estrutura na área da emergência e dos simulacros de evacuação.

Para simular a evacuação do edifício em estudo foi utilizado um modelo computacional, o Simulex. No capítulo três são apresentados os principais modelos existentes, assim como as diferentes características que os definem.

Após a revisão da literatura existente é apresentado o trabalho realizado na segunda parte, denominada trabalho efetuado. Esta parte engloba três capítulos.

No capítulo quatro, são analisadas as condições de segurança do edifício e são apresentados os planos de emergência para as plantas em estudo. São, ainda, previstos os tempos de evacuação para os planos de emergência elaborados.

No quinto capítulo desta dissertação é efetuada uma descrição da simulação da evacuação realizada no Simulex, descrevendo-se a metodologia utilizada e na secção seguinte são exibidos e analisados os resultados conseguidos. São também comparados estes resultados com os tempos previstos no capítulo anterior.

Por fim, no capítulo sete são salientadas as principais conclusões e também são sugeridos trabalhos de investigação futura que possam dar continuidade a este projeto.

# PARTE I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2. EVACUAÇÃO DE UM EDIFÍCIO

A evacuação de emergência é o processo em que as pessoas presentes num edifício face a uma ameaça ou a um evento desastroso, experienciam vários processos mentais e desencadeiam várias ações antes e/ou no decorrer da movimentação para um local seguro, que pode ser dentro ou fora de um edifício (O'Connor, 2005). Esta deslocação tem como objetivo e prioridade máxima a preservação das vidas, pelo que os bens devem ficar para segundo plano.

Este processo é caracterizado por três atividades básicas (Kobes et al., 2010a; O'Connor, 2005):

Alerta do perigo por estímulos externos	→	Período de validação
Validação e resposta aos indicadores de perigo	→	Período de tomada de decisão
Movimentação para um local seguro	→	Período de movimentação

Os dois primeiros períodos, validação e tomada de decisão, são denominados fase de pré-movimentação. A fase de pré-evacuação é o tempo gasto desde que o ocupante recebe o estímulo externo até iniciar a marcha de fuga. Durante esta fase, estes podem efetuar outras atividades que não tenham como objetivo o abandono da estrutura em chamas (Bryan, 1992). Esta fase adquire extrema importância na evacuação pois existe uma ligação direta entre estes atrasos e um número elevado de fatalidades. Os processos nesta fase podem ser mais decisivos do que a velocidade de movimentação.

Existem tempos de pré-evacuação definidos na literatura, estudados em análises de evacuações e simulacros, realizadas anteriormente. Na Tabela 1 são apresentados os tempos previstos para diferentes tipos de ocupação, tendo em conta o tipo de edifício e a familiarização dos ocupantes com este, a probabilidade da população estar acordada e o nível de dependência física da população. Os tempos divergem também com o tipo de sistema de alarme e o nível de treino dos ocupantes. Estes tempos são diferenciados na tabela, sendo W1 aplicado a sistemas de comunicação por voz de uma sala de controlo ou instruções diretas, visíveis e audíveis em todo o edifício, com pessoal bem treinado para emergências. A sigla W2 corresponde a mensagens de voz pré-gravadas e/ou sistemas de alarme visual, com pessoal treinado. Para os sistemas de alarme em que é utilizado um sinal sonoro de alarme e os ocupantes não tem treino relevante para emergência é utilizado o W3.

Os tempos de reação apresentados na Tabela 1 foram utilizados no decorrer do presente estudo de caso para definir o tempo que os ocupantes levam a reagir ao sinal de alarme na empresa onde foi efetuado o estudo.

**Tabela 1:** Tempos de pré-evacuação definidos na literatura (adaptado de CFPA-Europe, 2009)

Tipo de ocupação	W1 (min)	W2 (min)	W3 (min)
Escritórios, edifícios comerciais e industriais, escolas e universidades (ocupantes acordados e familiarizados com o edifício, com o sistema de alarme e com os procedimentos de evacuação)	<1	3	>4
Centros comerciais, museus, ginásios e outros edifícios frequentados por várias pessoas (ocupantes acordados mas não familiarizados com o edifício, com o sistema de alarme e com os procedimentos de evacuação)	<2	3	>6
Dormitórios e residências médias e altas (ocupantes podem estar a dormir mas estão familiarizados com o edifício, sistema de alarme e com os procedimentos de emergência)	<2	4	>5
Hotéis e pensões (ocupantes podem estar a dormir mas estão relativamente familiarizados com o edifício, sistema de alarme e procedimentos de emergência)	<2	4	>6
Hospitais, maternidades e outros estabelecimentos institucionais (Um número significativo de pessoas pode precisar de auxílio)	<3	5	>8

O tempo que um ocupante demora a abandonar um edifício em chamas pode ser afetado por vários fatores, descritos no segmento seguinte.

## 2.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A EVACUAÇÃO

A evacuação de um edifício deve-se, muitas vezes, a incêndios deflagrados neste. Por isso, é necessário compreender como as pessoas reagem numa situação destas.

O desempenho de resposta ao fogo é a capacidade humana de perceber e interpretar sinais de perigo e de tomar e levar a cabo decisões, visando a sobrevivência em incêndio. Assim, Kobes et al. (2010b) propõem um modelo de desempenho da resposta ao fogo, mostrado na Figura 1.

Sime (2001) sugere que o desempenho individual na resposta ao fogo pode variar no decorrer da fuga e depende das condições envolventes. Isto significa que a performance não

depende apenas das características pessoais. O meio envolvente, como as características do edifício e do fogo, também influenciam a resposta.



**Figura 1:** Fatores que influenciam a resposta ao fogo (adaptado de Kobes, et al., 2010b)

### 2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO EDIFÍCIO

As características do edifício e a maneira como as pessoas interagem com este têm um impacto direto na resposta ao fogo, pois é um ambiente fisicamente fechado em que estão presentes os ocupantes e são desencadeadas diversas atividades.

A planta do edifício, ou seja, a forma como este está organizado, de forma mais simples ou mais complexa, assim como a familiaridade dos ocupantes com a mesma, com os compartimentos, com as saídas, com a sinalização, podem afetar a resposta dos ocupantes. Gwynne et al. (2001) afirmam que a familiaridade<sup>1</sup> tem uma importância fundamental no processo de evacuação.

Em caso de incêndio, a facilidade em encontrar o caminho de evacuação é muito importante para a sobrevivência. A escolha do caminho de evacuação é determinada pelo nível de conhecimento espacial, pelo nível de diferenciação arquitetónica, pela presença de sinalização de segurança, entre outros fatores. Estudos publicados recentemente (Kobes et al., 2010b) demonstraram que os ocupantes raramente têm noção da presença de sinalização de caminhos de emergência localizada no teto ou, pelo menos, a opção de saída não é baseada nela. Se a sinalização se encontrar num nível mais baixo, perto do chão, tem uma influência positiva na

<sup>1</sup> Familiaridade representa a compreensão da estrutura por parte dos ocupantes.



escolha da rota de evacuação, pois se estiver no teto, o fumo pode dificultar a visualização (Kobes et al., 2010c).

As pessoas normalmente utilizam as rotas que vão dar a saídas conhecidas e raramente saem pelas saídas de emergência. A utilização de saídas não é apenas baseada na proximidade ou na sinalização, pois pode ser influenciada pelas normas sociais dos ocupantes envolvidos. As saídas de emergência que não são utilizadas no dia-a-dia, também não o são em situações de emergência e apenas serão utilizadas se estiverem abertas e se a distância até à entrada principal for mais que o dobro da distância à saída de emergência (Kobes et al., 2010b; Paulsen, 1984).

### **2.1.2 CARACTERÍSTICAS COMPORTAMENTAIS HUMANAS**

Ao longo dos anos, o comportamento humano tem sido reconhecido como um fator muito importante na perda de vidas em incêndio, pois ao longo de vários estudos foi verificado que alguns ocupantes tomam ações que não têm como objetivo a saída para o exterior do edifício, como por exemplo procurar familiares ou amigos, procurar bens, tentar extinguir o fogo, etc.

O comportamento humano na fase inicial de um incêndio é o fator mais importante na determinação das hipóteses de sobreviver ao incêndio. Muitos fatores podem influenciar o comportamento das pessoas presentes no edifício em chamas, como a familiaridade com o edifício, o estado de alerta, a mobilidade, a relação com as pessoas envolvidas, o cargo exercido, a posição física dentro do edifício, entre outros (Shields & Boyce, 2000).

#### **2.1.2.1 CARACTERÍSTICAS HUMANAS**

As características humanas também podem influenciar o comportamento e as escolhas que os ocupantes de um edifício em chamas adotam.

- Homens e mulheres têm comportamentos diferentes no que toca à reação ao fogo. Enquanto que no caso dos homens é mais provável que estes procurem a origem do fogo, procurem extintores e tentem apagar o fogo, as mulheres alertam os outros, procuram familiares, chamam os bombeiros e abandonam o edifício (Bryan, 1992; Coelho, 1997).
- Limitações na condição física dos ocupantes podem influenciar a evacuação. Estas limitações podem ser de origem motora, visual, auditiva ou podem mesmo ser problemas respiratórios, cardíacos ou doenças cognitivas (O'Connor, 2005).

- A personalidade individual afeta a forma de reagir ao fogo. Esta característica pode ser dividida em três traços de personalidade: ser um líder ou seguidor, nível de resistência ao *stress* e auto confiança. (Kobes et al., 2010b).
- Crianças ou idosos tem menos capacidade de resistência ao fogo e menos capacidade física para escaparem (Proulx, 2003). Estatísticas revelam que estes grupos etários apresentam maiores índices de fatalidade nos incêndios. No entanto, num estudo de caso desenvolvido numa empresa em Portugal, com ocupantes adultos, não foram encontrados indícios que a média de idades tenha influência no tempo de evacuação (Miguel et al., 2010).
- Medicamentos, drogas e álcool (Proulx, 2003). A presença destas substâncias no corpo humano pode reduzir o nível de atenção e a capacidade de reconhecer uma situação perigosa, limitando a reação perante uma ameaça (Silva, 2007).

As características acima descritas podem interagir de uma maneira complexa, não tendo a mesma influência no comportamento e na capacidade de dar resposta a um fogo e respetiva evacuação.

#### **2.1.2.2 FATORES SOCIAIS**

Para além dos fatores de ordem física, também existem fatores de ordem social que podem alterar a capacidade de responder ao fogo. Características sociais como a interação entre as pessoas, o comprometimento com a tarefa e os cargos exercidos numa organização são cruciais na evacuação do edifício em caso de incêndio.

A influência social é de extrema importância no processo de decisão na etapa precedente à evacuação (Nilsson & Johansson, 2009). Existe uma forte possibilidade das pessoas serem influenciadas pelo comportamento de outros. A ação, ou falta dela, por parte das pessoas em volta de um indivíduo pode influenciar a perceção desse indivíduo e da situação e o seu comportamento subconsciente. Se alguém inicia a movimentação em direção a uma saída, é provável que todos o sigam, mas o contrário também se verifica, a inatividade por todos os elementos do grupo pode inibir as ações dos envolvidos. A inércia das pessoas pode passar a mensagem que o perigo não é real, inibindo a resposta. Se o indício de fogo for ambíguo, o indivíduo estuda o comportamento das pessoas à volta para obter mais informação acerca da situação. As pessoas pretendem agir em concordância com o que é esperado delas, não se querem destacar ou serem tomados por pessoas sem senso (Nilsson & Johansson, 2009).

Em grupo, as pessoas tendem a colaborar entre si, em vez de atuarem sozinhas. Se as pessoas se encontrarem em conjunto, a evacuação não deverá começar enquanto o grupo não estiver todo reunido. Quando começa a movimentação, a velocidade de fuga do grupo é determinada pelo elemento mais lento.

O cargo exercido por um indivíduo dentro de uma organização pode ter influência na sua reação perante uma situação de emergência, na medida em que as pessoas com cargos de liderança normalmente tomam a iniciativa da resposta naquela situação (Kobes et al., 2010b; Shields & Boyce, 2000). Por outro lado, os colaboradores ditos “normais” seguem mais facilmente instruções dos encarregados ou de funcionários mais antigos. Quando existem visitantes num determinado local, estes têm uma atitude assiva e esperam que alguém ligado ao edifício os guie para um local seguro.

A formação para situações de emergência influencia também a reação. Os indivíduos que já estiveram envolvidos nestas atividades reagem de forma mais célere e com outro poder de decisão.

O nível de empenho e comprometimento dedicado a determinadas tarefas é outro dos motivos, indicados por diversos autores (Kobes et al., 2010b; Meacham, 1999; Proulx, 2003), que leva as pessoas a adiarem o início da fuga. Muitas vezes as pessoas consomem a tarefa que estão a executar antes de iniciarem a evacuação (Proulx, 2007).

### **2.1.3 CARACTERÍSTICAS PSICOLÓGICAS**

A forma como as pessoas reagem a um incêndio está diretamente relacionada com os perigos produzidos pelo mesmo.

Um conceito sempre discutido após um incêndio onde tenham ocorrido várias fatalidades é o comportamento de pânico, muito por influência dos média, que tendem a mostrar que o pânico e o fogo estão diretamente ligados (Sime, 1995).

Ao longo dos anos o conceito de pânico tem sido explorado por diversos autores. Fahy & Proulx (2009) publicaram uma revisão dos conceitos que surgiram ao longo do tempo. Por exemplo, citam Goldenson (1984), que define o pânico como sendo um “comportamento que envolve uma competição descontrolada pelas restrições sociais e culturais”. Por outro lado, Keating (1982) afirma que o pânico envolve quatro elementos: a) a esperança de fugir, mesmo com poucos recursos; b) comportamento contagioso; c) preocupação agressiva pela sua própria segurança; d) respostas irracionais e não lógicas.

O conceito de pânico é muitas vezes utilizado para explicar ocorrências de inúmeras fatalidades em incêndios onde não existiram evidências fisiológicas, sociais e psicológicas para que determinado comportamento tenha ocorrido.

O pânico é definido como um comportamento irracional, o que raramente se verifica em incêndios (Proulx, 2007). Apesar do ambiente extremamente stressante, as pessoas normalmente reagem de maneira racional, muitas vezes altruísta e cooperativa, dentro das condições possíveis, tendo em consideração as restrições impostas pelo fogo. Por exemplo, comportamentos como combater o fogo sozinho, ou ficar imobilizado ou muito exaltado são denominados, erradamente, de pânico. O comportamento pode parecer irracional do ponto de vista de uma pessoa exterior mas pode ser fazer sentido do ponto de vista de um ocupante de um edifício em chamas (Paulsen, 1984).

#### **2.1.4 CARACTERÍSTICAS DO FOGO**

O fogo é uma reação de combustão, oxidação-redução, fortemente exotérmica, que se desenvolve, normalmente, de forma descontrolada, quer no tempo, quer no espaço. Para além da emissão de calor, num incêndio também se verifica a emissão de fumo, chamas e gases de combustão (Miguel, 2010).

A exposição ao fogo pode ter vários efeitos negativos na resposta humana, devido à temperatura e ao fumo.

Os efeitos da temperatura no corpo de um ser humano em situações de incêndio podem variar consoante o tempo exposto ao calor, à quantidade de humidade relativa e às características da roupa utilizada. Por exemplo, temperaturas relativamente baixas para um incêndio, como 44°C podem começar a queimar a pele, a 55°C ocorrem desconfortos graves na boca, nariz e esófago e a morte por hipertermia acontece aos 100°C. A combinação de tempo e temperatura deve ser considerada. Quanto maior a temperatura, mais rapidamente ocorre uma queimadura (Meacham, 1999).

O fumo em cenários de incêndio é um forte indicador que algo está não está bem e que é necessário escapar o mais rapidamente possível. O fumo não trava a movimentação dos ocupantes, mesmo nas piores condições (Meacham, 1999; Proulx, 2003), antes pelo contrário, a presença de fumo estimula a reação, pois a movimentação é mais rápida na presença do fumo do que na ausência dele (Kobes et al., 2010a). Por outro lado, quando ocorre inalação continuada de fumo, os ocupantes tendem a diminuir a velocidade de marcha (Gwynne et al., 2001). Algumas pessoas estão dispostas a andar pelo fumo e apenas redefinem a rota de fuga

ou voltam para trás quando não conseguem ver mais de três metros (Coelho, 1997; Proulx, 2003) ou quando têm problemas em respirar, medo e outras razões (Kobes et al., 2010b). Estudos (Kobes et al., 2010a; Proulx, 2003) mostram que em caso de visibilidade reduzida, as pessoas tendem a caminhar encostadas à parede para terem alguma orientação.

O fumo tem uma forte influência na escolha da saída. Por exemplo, Kobes et al. (2010c) estudaram as escolhas dos caminhos de emergência num hotel e concluíram que, quando o fumo é perceptível, a maioria dos ocupantes foge pela saída de emergência, pois as pessoas tendem a procurar mais sinais da presença de uma ameaça. Esse mesmo estudo demonstra que a confusão é maior quando é dado o alarme mas o fumo não é perceptível.

A combustão dos materiais pode libertar gases com vários efeitos negativos nas pessoas, como a perda de consciência, ou mesmo a morte. A inalação de gases libertados pode também ter efeitos a longo prazo, como cancro e outras doenças crónicas (Kobes et al., 2010b).

Como referido anteriormente, a combustão dos materiais consome oxigénio, o que provoca uma diminuição da concentração deste elemento no ar, que é de cerca de 21%.

Quando a percentagem de oxigénio diminui, mesmo que ligeiramente, ocorrem efeitos fisiológicos. Na Tabela 2 são apresentados os efeitos da redução do oxigénio no organismo.

**Tabela 2:** Efeitos fisiológicos da diminuição da concentração de oxigénio (adaptado de Meacham, 1999)

Percentagem de O <sub>2</sub> (%)	Tempo	Efeito fisiológico
17 – 21	Indefinido	Diminuição do volume de respiração, perda de coordenação, dificuldade em pensar.
14 – 17	2 horas	Pulso rápido, tonturas.
11 - 14	30 minutos	Náuseas, vômitos, paralisia.
9	5 minutos	Perda de consciência.
6	1 – 2 minutos	Morte.

## 2.2 IMPORTÂNCIA DA FORMAÇÃO DA ÁREA DA EVACUAÇÃO

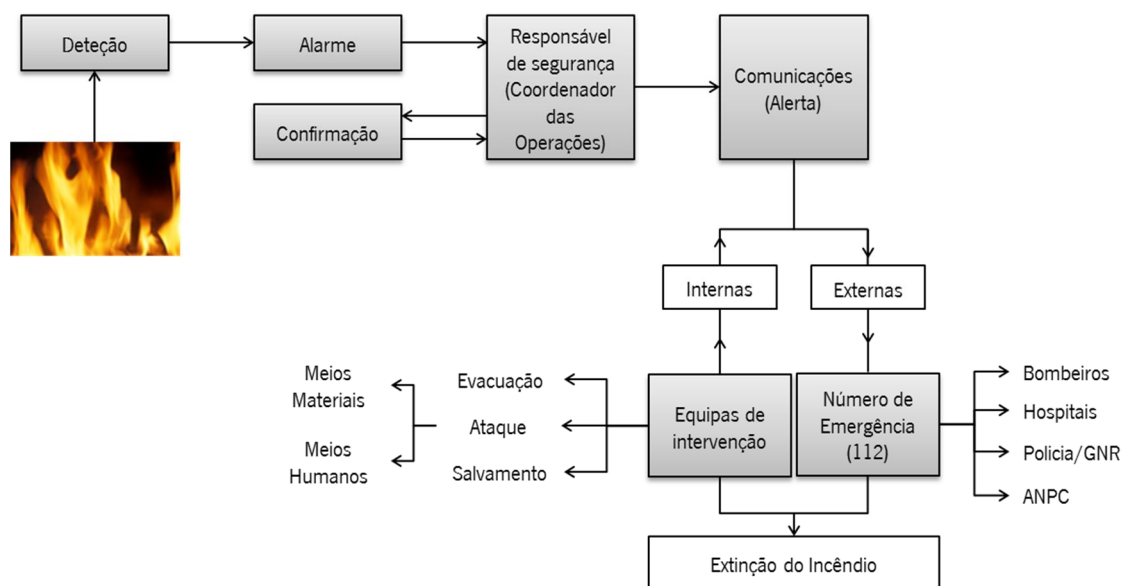
Ozel (2001) define o comportamento humano numa situação de incêndio como “episódios da Natureza”, onde os ocupantes tomam variadas ações sequenciáveis, em que cada episódio tem um objetivo e um número considerável de ações observáveis, de acordo com esse objetivo. Enquanto a sequência dos processos de decisão é importante na emergência em situação de incêndio, o plano de ação relativo à execução de cada episódio individual é também importante. Por exemplo, a decisão de avisar os outros deve ser complementada com um plano de intervenção ou a ação de evacuar requer que uma saída seja selecionada.

Então, para as empresas se protegerem de acontecimentos imprevistos, devem adotar medidas básicas de prevenção. Assim, enquadra-se a necessidade das organizações necessitarem de desenvolver e implementar procedimentos, com vista à prevenção e proteção de incêndios, assim como a preparação para qualquer situação de emergência.

### 2.2.1 PLANOS DE INTERVENÇÃO

Um Plano de Intervenção tem como objetivo fornecer, de forma inequívoca e prática, as informações necessárias que permitam, em situações de emergência, garantir a segurança das pessoas e bens nas instalações dos edifícios em questão. Com efeito, é um documento que contém a estrutura da organização da segurança, os procedimentos a seguir e as responsabilidades dos diversos intervenientes na ação de intervenção e de apoio em situações de emergência.

Neste sentido, este documento deverá ser elaborado com base nos critérios previsíveis de incêndio ou outras situações de emergência inerentes aqueles estabelecimentos. Na Figura 2 pode observar-se um esquema simplificado de um plano de intervenção (Miguel, 2010).



**Figura 2:** Esquema simplificado de um plano de intervenção em caso de incêndio (Reproduzido de Miguel, 2010)

Para que este plano seja eficaz, todo o pessoal da organização deve participar em ações de formação e devem ser esclarecidos sobre qual a sua função em caso de emergência, quais os procedimentos a adotar e qual o caminho de fuga a percorrer. (Miguel, 2010). Todas estas medidas devem ser treinadas em simulacros.

### **2.2.2 SIMULACROS DE EVACUAÇÃO**

Os simulacros de evacuação são levados a cabo em diferentes locais, como fábricas, edifícios administrativos, centros comerciais, escolas, com o objetivo de familiarizar os ocupantes com os meios de evacuação disponíveis. Este exercício fornece experiência em vários tipos de emergência, desde incêndios, sismos, inundações, ameaças de bomba, etc..

A maioria dos ocupantes de um edifício entra e sai pelas mesmas portas, pelo que, caminhos e saídas alternativas podem não lhes ser familiares, mesmo que já conheçam o edifício há bastante tempo. Desta maneira, formar os ocupantes dos edifícios acerca dos procedimentos a seguir é fundamental.

Os simulacros de evacuação proporcionam aos ocupantes a oportunidade de conhecerem, localizarem e usarem caminhos e saídas alternativas sob condições não perigosas e ajudam, de igual modo, a familiarização dos ocupantes com o sinal de alarme e com os procedimentos apropriados a adotar em situações de emergência.

Para além de prepararem as pessoas para uma possível ameaça, os simulacros de evacuação permitem também a comprovação, ou não, do correto funcionamento de alguns dos meios existentes, como os detetores de fumo, os alarmes, os sistemas de comunicação e permite também medições de tempo, tanto de evacuação como de intervenção das equipas de emergência (MAPFRE, 1997).

Os procedimentos e estratégias de evacuação fornecem informação que pode ser altamente relevante para a avaliação do comportamento de fuga dos ocupantes. Se estes procedimentos não forem praticados, os ocupantes não irão agir conforme o estipulado em casos de emergência. O contrário também se verifica, se a evacuação for treinada, essas expectativas são mais apropriadas (O'Connor, 2005). Os simulacros fornecem aos seus organizadores dados acerca da resposta e comportamento dos intervenientes e dos sistemas de proteção contra incêndios existentes. Sendo bem planeados e bem executados, os simulacros são ferramentas bastante efetivas para criar ambientes de trabalho mais seguros relativamente às variadas situações de emergência. Pode ser afirmado que o comportamento dos trabalhadores melhora progressivamente, no decorrer de vários simulacros (Miguel et al., 2010).

A preparação de um simulacro deve ser um trabalho consciente e deve-se ter em conta as eventualidades que possam surgir durante a realização do mesmo e a possibilidade de recolher muita informação. Um simulacro realizado sem preparação suficiente pode dar lugar a acidentes. Deve-se simular todos os cenários possíveis, com diferentes níveis de gravidade de

possíveis ameaças que possam ocorrer. Os simulacros devem ser levados a cabo, normalmente com periodicidade anual, para que os procedimentos sejam lembrados e corrigidas possíveis falhas que possam ocorrer (MAPFRE, 1997).



### 3. SIMULADORES INFORMÁTICOS DE EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Normalmente, cada simulacro de evacuação apenas é efetuado uma vez pois é uma atividade dispendiosa. Assim sendo, podem existir limitações na confiança do teste no que diz respeito à capacidade de evacuação da estrutura.

Ao longo do tempo surgiram modelos informáticos com diferentes características, adaptando-se às necessidades modernas. Os primeiros estudos nesta área são datados de 1982 (Pires, 2005). A partir desta data, foram desenvolvidos diversos simuladores de evacuação para que esta seja estudada em diferentes vertentes, tanto na capacidade do edifício como no comportamento humano adotado no decorrer da evacuação, evitando os custos e aborrecimentos associados a mais simulacros.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DOS DIFERENTES MODELOS

Existem vários modelos informáticos que oferecem diferentes graus de sofisticação. Ao longo deste capítulo são apresentadas diferentes características em que os modelos se podem diferenciar, tanto com a natureza da modelação, como o modo que a estrutura do edifício é representada, passando pela perspectiva da população, pelo comportamento, entre outras.

##### 3.1.1 NATUREZA DA MODELAÇÃO

A natureza da modelação está relacionada com os princípios adjacentes que influenciam as capacidades do modelo associado. Segundo Gwynne et al. (1999), podem ter como objetivos:

- **a simulação**, em que pode ser representado o comportamento e a movimentação observados na evacuação, não apenas para alcançar resultados aceitáveis quantitativamente, mas representações realistas dos caminhos e decisões tomadas na evacuação;
- **a otimização**, em que estes modelos assumem que os ocupantes são perfeitos, o mais eficientes possível, e as atividades de pré-evacuação são ignoradas. Os caminhos de evacuação são considerados ótimos, assim como as saídas e o fluxo de pessoas.
- **a avaliação de risco**, nos quais os modelos tentam identificar perigos relacionados com os resultados da evacuação, resultantes de um fogo, tentando também quantificar o risco. Ao realizar repetidos testes, podem ser avaliadas variações estatísticas significantes associadas a mudanças na planta ou a outras medidas de proteção ao fogo.

### 3.1.2 REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO

O espaço em que a evacuação ocorre tem de ser representado. Existem três métodos para reproduzir o recinto, o *fine network*, o *coarse network* e o *continuous network*.

- ***Fine network*** – neste método de representação, todo o espaço está representado num conjunto de ladrilhos e nós, em que o tamanho destes varia de modelo para modelo. Por exemplo, enquanto o buildingEXODUS utiliza nós quadrados de  $0,5 \times 0,5$  metros (Gwynne et al., 2001), no EGRESS cada nó é hexagonal, de forma a comportar um ocupante (Kendik, 1995). A conectividade entre nós também varia consoante o modelo. No buildingEXODUS, cada nó pode conectar-se com oito nós vizinhos e no EGRESS, cada nó liga a seis nós vizinhos. Um grande recinto pode ter milhares de nós e por isso, é possível representar a geometria de forma fiel e localizar os ocupantes no local preciso em qualquer momento, durante a evacuação (Oven & Cakici, 2009; Sagum et al., 2011).
- ***Coarse network*** – a geometria é definida em termos de partições derivadas da estrutura real. Assim, cada nó representa uma divisão ou um corredor, independentemente do seu tamanho físico. A conexão entre nós é efetuada através de arcos, representando as portas ou outros conectores de divisões. Os ocupantes não podem passar de um ponto dentro de uma divisória para outro ponto dentro da mesma, apenas podem movimentar-se de um compartimento para outro. Neste tipo de representação é difícil mostrar o movimento real, incluindo ultrapassagens dos ocupantes, exposição de locais de conflito e de obstáculos, pois não é representado o local exato do ocupante. Por estes motivos, não podem ser efetuados cálculos das movimentações dos indivíduos e das interações entre eles (Sagum et al., 2011).
- ***Continuous network*** – estes modelos aplicam um espaço a duas dimensões (contínuo) aos planos do edifício e permitem que os ocupantes se desloquem de um ponto para outro, através do edifício.

Nos modelos que possuem representações *fine* e *continuous network* é possível representar obstáculos no edifício. Estas redes são mais capazes de precisar a representação de um recinto do que um *coarse network*, mas este traz vantagens na facilidade de representação e na velocidade de computação da simulação (Gwynne et al., 1999).

### 3.1.3 REPRESENTAÇÃO DA POPULAÇÃO

Esta característica explica duas situações, como o modelo vê os ocupantes e a maneira que os ocupantes visualizam o edifício.

Então, os modelos podem representar os ocupantes individualmente ou em grupo (Gwynne et al., 1999):

- **Perspetiva individual:** pode ser representada uma população diversificada, com diferentes traços comportamentais, em que a evacuação se baseia na tomada de decisão de cada indivíduo, sem a opção de implementar um comportamento de grupo. A definição de ocupantes individuais não impede que o comportamento de grupo aconteça mas examina cada ocupante individualmente e assim aloca uma ação, que pode resultar num comportamento de grupo.
- **Perspetiva de grupo:** não reconhece o individual, considera a população como um conjunto homogêneo, sem diferentes identidades. Estes modelos não representam os detalhes da evacuação baseado na fuga individual mas no número de ocupantes que saíram. A modelação dos efeitos de certas ocorrências no ocupante é difícil e não informa sobre a taxa de sobrevivência de idosos, crianças ou pessoas menos válidas, apenas a proporção da população que foi afetada. Este problema pode não ser considerado muito sério para uma população completamente uniforme mas em situações mais convencionais, oculta uma interpretação precisa do comportamento da população.

A forma como os ocupantes vêm o edifício também pode variar de modelo para modelo, tendo os ocupantes uma visão individual ou global da estrutura envolvente. Um modelo em que o ocupante tem visão individual do edifício trata-o como se o ocupante não conhecesse as saídas e os caminhos de evacuação e decide a sua rota com base em informação do piso, experiência pessoal e, em certos modelos, na informação dos ocupantes ao seu lado. Numa perspetiva global, os ocupantes sabem automaticamente qual é o melhor caminho a adotar e têm um conhecimento total do edifício (Kuligowsky & Peacock, 2005).

### 3.1.4 PERSPETIVA COMPORTAMENTAL

A simulação do comportamento humano no decorrer de uma evacuação pode não ser conseguida apenas com aspetos físicos. Se forem considerados simplesmente aspetos físicos e geométricos, a variável mais importante é omitida. O processo de tomada de decisão deve ser representado, mesmo que de forma rudimentar, e deve ser capaz de influenciar as ações dos

ocupantes simulados. Para representar o processo de tomada de decisão dos ocupantes, o modelo deve incorporar um método apropriado para simular o comportamento humano. A perspectiva comportamental é afetada pela representação do espaço adotado e é o aspeto mais complexo de representar de todos os apresentados.

Até ao presente, existem cinco sistemas comportamentais (CFPA-Europe, 2009; Gwynne et al., 1999):

- **Sem regras comportamentais:** este sistema depende completamente da movimentação física da população e da representação física do edifício, para influenciar e determinar a evacuação dos ocupantes. Pode ser concluído que neste sistema as decisões são tomadas com base nas influências físicas.
- **Comportamento implícito:** nestes modelos não são declaradas regras comportamentais mas é assumido que estão implicitamente representadas na utilização de métodos físicos complexos. Estes modelos podem ser baseados na aplicação de informação secundária que incorpora influências psicológicas e sociológicas. Nestes modelos, o utilizador pode introduzir certas informações, como tempos de pré-movimentação e algumas características individuais, que possam influenciar a movimentação na evacuação. Pode ser afirmado que estes modelos dependem da validade e precisão da informação secundária.
- **Comportamento condicional (ou baseado em regras):** neste modelo, os traços comportamentais do ocupante são reconhecidos explicitamente. É permitido aos ocupantes tomarem decisões de acordo com regras pré-definidas. Estas regras são desencadeadas em situações específicas e cada circunstância tem um efeito. Por exemplo “Se estou num compartimento em chamas, vou sair pela saída mais próxima”. Os modelos mais simplistas apresentam um problema, pois as mesmas decisões são tomadas sob as mesmas circunstâncias, de uma maneira determinística e negam a possibilidade de variações naturais nos resultados de repetições.
- **Sistema comportamental baseado na inteligência artificial:** o comportamento simulado dos ocupantes é baseado na inteligência humana. No geral, o comportamento tem uma relação complexa de ambientes. Podem existir interações pessoa–pessoa, pessoa–estrutura e pessoa–ambiente. Estas interações desencadeiam o processo de tomada de decisão, afetando a movimentação das pessoas. Este plano torna-se mais complexo à medida que as interações acontecem.

- **Probabilístico:** esta abordagem usa o comportamento condicional baseando-se em modelos probabilísticos. São modelos estocásticos e independentes, permitindo que, ao repetir a simulação, os resultados variem.

### 3.1.5 TIPO DE MOVIMENTAÇÃO

A forma como o modelo move os ocupantes através do edifício pode também variar de modelo para modelo. A maior parte dos modelos atribui uma velocidade específica, para caminhos desimpedidos. As diferenças nos modelos acontecem quando os ocupantes ficam próximos, aumentando a densidade populacional e se formam filas e congestionamentos dentro do edifício. De seguida são listadas as diversas formas de movimentação dos ocupantes (Kuligowsky & Peacock, 2005):

- **Correlação de densidade:** baseando-se na densidade do espaço, o modelo atribui uma velocidade e um fluxo aos indivíduos ou à população em geral.
- **Escolha do utilizador:** o utilizador escolhe a velocidade, a fluidez e os valores de densidade para os espaços dentro do edifício.
- **Distância entre pessoas:** cada ocupante está cercado por uma “bolha” de 360° que lhes permite uma distância mínima dos outros ocupantes, obstáculos e da estrutura do edifício.
- **Potencial:** é atribuído um valor ou um potencial valor a cada célula da rede no espaço a partir de um ponto no edifício, que guia os ocupantes através da área deste para uma certa direção. O ocupante segue um mapa potencial e tenta reduzi-lo a cada célula da rede em que passa. O potencial da rota pode ser alterado por variáveis como a paciência do ocupante, atratividade da saída, familiaridade do ocupante com o edifício, etc.. Estas características são, normalmente, especificadas pelo utilizador.
- **Disponibilidade da célula seguinte:** em alguns modelos, os ocupantes não se movem para uma célula da rede se essa estiver ocupada por outra pessoa. Assim, o indivíduo espera que essa célula esteja livre. Caso estejam vários sujeitos em espera para a mesma célula, o programa resolve qualquer problema que possa daí advir e decide qual o ocupante que deve avançar primeiro.
- **Condicional:** o movimento dentro do edifício está dependente das condições do ambiente envolvente, da estrutura, dos outros evacuantes e/ou da situação do fogo. Estes modelos não dão particular ênfase aos congestionamentos dentro do edifício.

- **Analogia funcional:** nestes modelos é aplicada uma equação (ou conjunto de equações) que gere a resposta da população. Apesar de ser possível que a população seja definida individualmente, todos os indivíduos afetados pela mesma função reagem da mesma maneira. Esta função não deriva, necessariamente, do comportamento humano da vida real mas sim de um campo de estudo, assumido como sendo semelhante ao comportamento humano.
- **Ligado a outro modelo:** O movimento dos ocupantes é calculado por outro modelo, que é ligado ao simulador de evacuação em questão.
- **Aquisição de conhecimento:** a movimentação é baseada apenas na informação da evacuação. Estes modelos não possuem um algoritmo de movimentação pois o tempo de evacuação não é calculado, apenas é considerada a informação das condições de evacuação da estrutura, como locais de congestionamento, etc..
- **Fluxo desimpedido:** é calculada apenas a movimentação desimpedida dos ocupantes. Ao tempo de evacuação obtido com este modelo devem ser adicionados ou subtraídos atrasos ou melhorias para produzir o tempo de evacuação final.
- **Autómatos celulares:** os ocupantes movimentam-se na rede de célula em célula, pela simulação da evacuação, por uma matriz ponderada.

### 3.1.6 INFORMAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FOGO

Os modelos informáticos que simulam a evacuação podem ser caracterizados também pela capacidade de considerar, ou não, os efeitos do fogo na simulação. No entanto, os modelos que incorporam informação do fogo podem variar (Shi et al., 2009).

Os modelos podem incorporar a informação de três maneiras distintas:

- Importar a informação de outro modelo;
- Permitir ao utilizador a introdução de aspetos específicos do fogo no decorrer da evacuação;
- O modelo pode ter o seu próprio simulador de fogo.

Os modelos que não integram informação do fogo apenas simulam “simulacros”, o que significa uma evacuação do edifício, mas sem a presença de fogo.

### 3.1.7 CAD

Esta subcategoria distingue os modelos que permitem, ou não, ao utilizador a importação de plantas de um projeto desenhado em computador, CAD. Os modelos que permitem a importação dos projetos poupam tempo e são mais precisos (Kuligowsky & Peacock, 2005).

### 3.1.8 VISUALIZAÇÃO

Esta característica define se o modelo permite a visualização da simulação. A observação da evacuação permite ao utilizador ver todo o percurso de fuga do edifício. Muitos modelos permitem uma visualização 2D e, mais recentemente foram lançados modelos que permitem acompanhar a evacuação em três dimensões.

Alguns modelos não permitem o acompanhamento visual do decorrer da simulação da evacuação (Kuligowsky & Peacock, 2005).

### 3.1.9 VALIDAÇÃO

Os modelos também podem ser catalogados quanto ao método utilizado para a sua validação. Os modelos podem ser validados de diferentes maneiras. Podem ser validados segundo os requisitos da lei, em simulacros reais, comparados com a literatura onde conste informação de experiências de evacuações efetuadas no passado, validação com outros modelos e validação por terceiros. Em alguns modelos não é encontrada informação sobre a validação (Kuligowsky & Peacock, 2005).

## 3.2 MODELOS EXISTENTES

Os modelos podem distinguir-se, por exemplo, de acordo com as características apresentadas no capítulo anterior. As características dos principais modelos disponíveis podem ser consultadas na Tabela 3, com as seguintes abreviaturas:

#### Representação do recinto:

- (F) *Fine network*;
- (C) *Coarse network*;
- (Co) *Continuous network*.

#### Perspetiva da população:

- (I) Individual;
- (G) Global.

#### Perspetiva Comportamental:

- (SR) Sem regras comportamentais;

- (I) Com regras implícitas;
- (BR) Comportamento baseado em regras;
- (C) Comportamento condicional;
- (IA) Comportamento baseado na inteligência artificial;
- (P) Probabilístico.

#### Tipo de movimentação:

- (D) Correlação de densidade;
- (EU) Escolha do utilizador;
- (DEP) Distância entre pessoas;
- (P) Potencial;
- (DS) Disponibilidade da célula seguinte;
- (C) Condicional;
- (AF) Analogia Funcional;
- (LOM) Ligação a outro modelo;
- (ACK) Aquisição de conhecimento;
- (FD) Fluxo desimpedido;
- (AC) Autómatos Celulares.

#### Condições de fogo:

- (N) O modelo não permite incorporar informação de fogo;
- (S1) Importa informação de fogo de outro modelo;
- (S2) O modelo permite a introdução de condições de fogo ao longo da simulação;
- (S3) O modelo possui o seu próprio modelador de fogo.

#### CAD:

- (N) O modelo não importa ficheiros de CAD;
- (S) O modelo importa ficheiros de CAD.

#### Visualização:

- (N) O modelo não permite a visualização da evacuação;
- (2-D) Permite uma visualização da simulação em 2D;
- (3-D) Permite uma visualização da simulação em 3D.

#### Validação:

- (L) Validados segundo requisitos da lei;
- (SE) Validados com simulacros ou experiências de movimentação de pessoas;



- (LE) Validados com a literatura ou com experiências passadas;
- (OM) Validados com outros modelos de simulação;
- (3P) Validados por terceiros;
- (N) Não foram encontradas evidências de validação do modelo.

**Tabela 3:** Diferentes características dos modelos selecionados (adaptado de Kuligowsky & Peacock, 2005)

Modelo	Natureza do modelo	Representação do recinto	Perspetiva da população	Perspetiva Comportamental	Tipo de movimentação	Condições de fogo	CAD	Visualização	Tipo de Validação
FPE Tool	Simulação	N/A	G	SR	EU	N	N	N	N
EVACNET4	Otimização	C	G	SR	EU	N	N	N	SE
TIMETEX	Simulação	C	I	SR	D	N	N	N	LE
WAYOUT	Avaliação de risco	C	G	SR	D	N	N	2-D	SE
STEPS	Simulação	F	I	SR/I	P, DS	N	S	3-D	L
PedGo	Simulação	F	I	I	P, DS (AC)	N	S	2-D	SE
PAXPORT	Simulação	C	G	I	D	N	S	2,3-D	N
Simulex	Simulação	Co	I	I	DEP	N	S	2-D	SE, LE
GridFlow	Simulação	Co	I	I	D	N	S	2,3-D	SE, LE
ASERI	Avaliação de risco	Co	I	BR/C, P	DEP	S2	N, D	2,3-D	SE
EXODUS	Simulação	F	I	BR/C, P	P, DS	S2	S	2,3-D	SE
EXITT	Simulação	C	I	BR/C	C	S1,2	N	2-D	N
Legion	Simulação	Co	I	IA	D, C	S2	S	2,3-D	SE, OM
PathFinder	Simulação	F	I	SR	D	N	S	2-D	N
EESCAPE	Simulação	C	G	SR	D	N	N	N	SE
Myriad	Simulação	N/A	I	SR	D	N	S	2-D	3P
ALLSAFE	Simulação	C	G	I	FD	S1,2	N	2-D	OM
CRISP	Avaliação de risco	F	I	BR/C, P	DS, D	S3	S	2,3-D	SE
EGRESS 2002	Simulação	F	I	BR/C, P	P, D (CA)	S2	N	2-D	SE
SGEM	Simulação	F	I	SR/I	DS, D (CA)	N	S	2-D	SE, OM
Egress Complexity	Simulação	C	I	N	Ack, AF	N	N	N	OM
EXIT89	Simulação	C	I	I/C	D	S1	N	N	OM
BGRAF	Simulação	F	I	BR/C, P	EU	S1,2	N, D	2-D	SE
EvacSIM	Simulação	F	I	BR/C, P	D	S2	N	N	N
Takahashi's Fluid Model	Otimização	C	G	SR	AF-D	N	N	2-D	SE
EgressPro	Simulação	C	G	SR	D	S2	N	N	N
BFIRE-2	Avaliação de risco	F	I	BR/C, P	EU	S2	N	N	N
VEgAS	Simulação	F	I	IA	DEP	S1	N	3-D	N
Magnetic Model	Simulação	F	I	I	AF	N	N	2-D	N
E-SCAP	Simulação	C	I	BR/C, P	LOM	S2	N	2-D	N

Os modelos apresentados na Tabela 3 não têm o mesmo grau de disponibilidade para utilização. Dos vários modelos apresentados, o FPE Tool, o EVACNET4, o TIMETEX, o WAYOUT, o STEPS, o PedGo, o PAXPORT, o Simulex, o GridFlow, o ASERI, o buildingEXODUS, o EXITT e o Legion encontram-se disponíveis para o público geral, enquanto que os modelos PathFinder, EESCAPE, SGEM, Myriad, ALLSAFE, CRISP e EGRESS apenas são utilizados pela empresa detentora do produto como um serviço, em consultadoria (Kuligowsky & Peacock, 2005; Kuligowsky et al., 2010).

Estudos de 2005 referem que, nessa data os modelos Egress Complexity Model, EXIT89, BGRAF e EvacSim ainda não haviam sido lançados no mercado e o Takahashi's Fluid Model, o EgressPro, o BFIRE-2 e o VEgAS já haviam saído do mercado. A disponibilidade dos modelos Marnetic Model e E-SCAPE era desconhecida (Kuligowsky & Peacock, 2005).

## PARTE II – TRABALHO EFETUADO

## 4. ELABORAÇÃO DO PLANO DE EVACUAÇÃO

### 4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

Como foi inicialmente descrito, este projeto tem como objetivo a elaboração de um plano de evacuação numa empresa e posterior simulação.

A empresa onde se realizou o estudo foi a Kyaia (Figuras 3 e 4), que se dedica à produção de calçado de elevada qualidade. Encontra-se localizada na freguesia de Penselo, no conselho de Guimarães.

A Kyaia foi fundada em 1984 por Fortunato Frederico, Amílcar Monteiro e José Azevedo, tendo o nome surgido em homenagem a uma localidade angolana. Esta empresa está especializada na produção de calçado para homem, senhora e criança, apresentando indubitavelmente uma elevada qualidade, tendo os seus produtos bem firmes no mercado, quer interno quer externo, fazendo-os representar pela sua marca *FLY London*, uma marca conceituada a nível mundial. O calçado produzido na Kyaia tem como principal alvo o mercado europeu, mas exporta também para os Estados Unidos e para o Canadá, tendo uma produção anual de cerca de 130 mil pares de sapatos.



**Figura 3:** Edifício da Kyaia



**Figura 4:** Vista aérea do edifício da Kyaia (adaptado de Google, 2012)

Atualmente, esta empresa emprega cerca de 200 trabalhadores, laborando apenas num turno normal, que funciona entre as 8h e as 17h. Na Tabela 4 é possível consultar as principais informações referentes à empresa.

**Tabela 4:** Localização e atividade da Kyaia

<b>Nome</b>	Kyaia – Fortunato O. Frederico e C <sup>a</sup> Ltd
<b>Morada</b>	Rua 24 de Julho, 453, 4800 – 128, Guimarães
<b>Localidade</b>	Penselo, Guimarães
<b>Atividade</b>	Produção de calçado
<b>CAE</b>	15201 – Produção de calçado

A problemática que se coloca é a falta de um plano de evacuação definido na empresa, pondo assim em causa a segurança dos trabalhadores no caso de uma eventual emergência. Os trabalhadores da Kyaia não estão preparados para, em caso de incêndio, reconhecerem o sinal de alarme e agirem segundo determinados padrões para que a segurança de todos seja preservada.

A administração da empresa pretende alterar a configuração das instalações, com o acréscimo de um novo conjunto de escadas. Para esta nova planta, que foi denominada de planta modificada, foram reavaliados os caminhos de evacuação.

## **4.2 PLANO DE EVACUAÇÃO**

Para a luta contra o fogo ser eficaz deve ser organizada ao pormenor. É, por isso, necessário avaliar as diferentes eventualidades que podem ocorrer e, para cada uma delas, determinar as operações a efetuar, as necessidades de material, estimar o material necessário e fixar a tarefa de cada um. Com efeito, o material de intervenção deve ser melhor manuseado e surtirá mais efeito caso o pessoal se encontre treinado para tal.

Por exemplo, todos os elementos da empresa devem saber manusear os extintores. Os membros da equipa de segurança devem participar em sessões de treino com alguma periodicidade.

Os exercícios de incêndios têm como objetivo, por um lado conseguir que cada membro da equipa conheça bem a sua função em caso de incêndio e, por outro lado, habituar cada elemento a reagir calma e eficazmente em caso de alerta.

De forma a assegurar a máxima segurança possível de todos os indivíduos presentes nas instalações da Kyaia, sendo trabalhadores, fornecedores ou clientes, foi elaborado um plano de emergência.

Com efeito, e de acordo com a Figura 5, foram delegadas as funções e responsabilidades para garantir que, em caso de emergência nada falhe, e que a evacuação aconteça da melhor maneira possível.

Então, foram definidas equipas de evacuação e, para cada uma foram nomeados responsáveis e abre-filas, definidas saídas a utilizar, principal e alternativa, em caso de emergência por cada grupo. O abre-fila é a pessoa responsável por encaminhar todas as pessoas do seu grupo para o ponto de encontro, enquanto o responsável do grupo é o último a sair, garantindo que ninguém fica retido. Para tal, tem de ter conhecimento das pessoas que diariamente estão ao serviço. A informação referente às equipas de evacuação pode ser consultada no Anexo II.

Em caso de emergência, o delegado de segurança é a pessoa responsável pela avaliação da ameaça e decide se a evacuação é total ou parcial, ou seja, se há necessidade de evacuar todo o edifício ou apenas algumas equipas. A partir daí, mobiliza os grupos necessários e coordena as operações. Para tal, o delegado tem o apoio de outras pessoas, os responsáveis de intervenção, de alerta e de evacuação.

O responsável de alarme tem como função telefonar aos bombeiros ou a outras entidades externas de emergência e o responsável de intervenção dá o alarme, caso a evacuação seja geral, define a estratégia de combate ao incêndio e mobiliza os meios de intervenção necessária. É também tarefa deste manter o responsável de emergência informado acerca da evolução do incêndio.

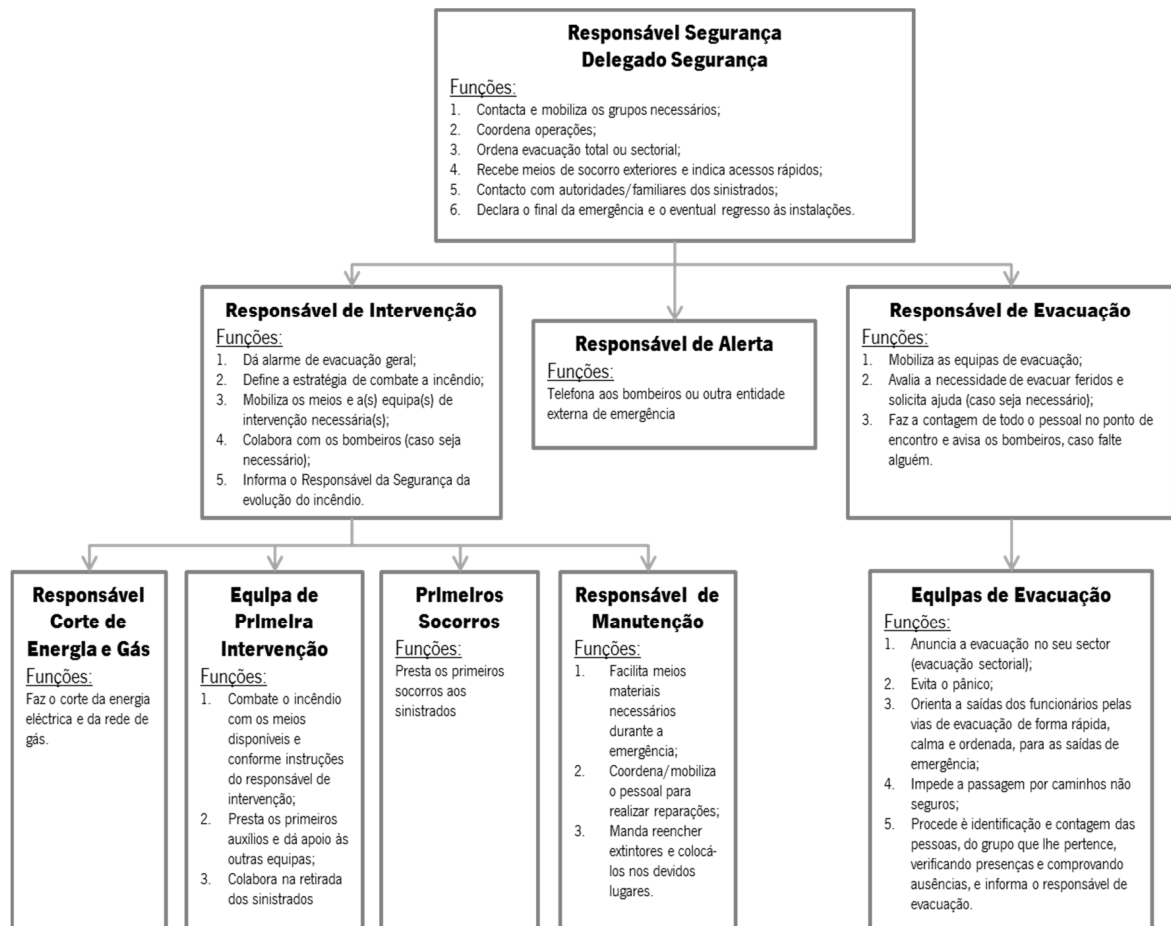
Num incêndio, há também uma pessoa responsável pelo corte de energia e de gás e há um responsável de manutenção, cujas funções passam por facilitar os materiais necessários para combate ao fogo.

É também definida uma equipa de intervenção, que está incumbida do combate ao incêndio com os meios disponíveis, conforme instruções do responsável de intervenção que, se necessário, também colabora nesta tarefa. Esta equipa, em conjunto com a equipa de primeiros socorros, presta auxílio aos sinistrados colabora com a retirada de feridos.

O responsável de evacuação mobiliza as equipas de evacuação e avalia a necessidade de evacuar feridos, solicitando ajuda se necessário.

O responsável de cada equipa de evacuação anuncia a evacuação do seu grupo e orienta-o pelo caminho de evacuação correto, evitando locais inseguros. Na chegada ao ponto de encontro, faz a contagem das pessoas do grupo que lhe pertence e informa o responsável de evacuação dos trabalhadores presentes e ausentes.

O final da emergência é declarado pelo responsável de segurança. Posteriormente, o responsável de manutenção trata da reparação dos equipamentos danificados, de reencher os extintores e colocá-los nos devidos locais.



**Figura 5:** Distribuição de responsabilidades em caso de incêndio

### 4.3 PREVISÃO DO TEMPO DE EVACUAÇÃO

São vários os estudos acerca da movimentação de pessoas no interior de um edifício, cujo objetivo é estimar o tempo necessário para a evacuação completa. Coelho (1997), na sua dissertação de doutoramento efetuou uma análise sobre os principais métodos relacionados com esta área. Sobre a movimentação de pessoas e respetivos tempos de evacuação, foram abrangidos os seguintes estudos:

- Building Research Establishment;
- Belga;
- Fruin;
- Galbreath;
- Nelson e Macleannam;
- Pauls;
- Peschl;
- Predtechenskii-Milinskii;
- Togawa.



Estes estudos revelaram ser bastante complexos, com variáveis difíceis de conseguir e, por isso, optou-se por uma equação mais simples, proposta por Miguel (2010).

$$T_{ev} = \frac{P}{A \times C} + \frac{L_m}{V}$$

Sendo:

- **T<sub>ev</sub>** o tempo de evacuação (s);
- **P** o número de ocupantes;
- **A** a largura total das vias de evacuação (m);
- **C** o coeficiente de circulação (valor médio de 1,8 pessoas/m.s);
- **L<sub>m</sub>** o comprimento total do caminho a percorrer, desde o ponto mais desfavorável do edifício (m);
- **V** a velocidade de circulação (m/s).
 

→ em situações normais ∴	vias horizontais	0,6;
	escadas	0,3;
→ em situações de pânico:	vias horizontais	0,2;
	escadas	0,15.

Miguel (2010) refere que, para o cálculo do tempo de evacuação, se deve considerar o tempo de evacuação desde o aparecimento do primeiro sinal de alerta (sinal sonoro, visualização de chamas, fumo, etc.) até que a última pessoa alcance um local seguro. Então, aos tempos obtidos através da expressão teórica, foram adicionados os tempos de pré-evacuação previstos na literatura, e já referidos anteriormente, para instalações industriais, em que os ocupantes conhecem o sinal de alarme e sabem quais os procedimentos de emergência a tomar, que equivale a três minutos.

Apenas foram previstos os tempos para as hipóteses em que os ocupantes estão previamente treinados para a emergência. Nos casos em que não existe formação na área da emergência, não é possível prever o caminho que cada indivíduo vai adotar.

Os três primeiros grupos, os das montagens foram unidos e foi estimado o tempo de evacuação para o conjunto, pois utilizam a mesma a mesma saída. O mesmo aconteceu para os grupos do corte e da costura.

As distâncias ao ponto de encontro (PE) e a largura das vias de evacuação foram medidas na planta do edifício, enquanto que o número de pessoas por grupo foi estimado a partir de uma listagem de colaboradores. As plantas do edifício foram fornecidas à autora pelo responsável da segurança e higiene e a listagem de pessoas foi fornecida pelo gabinete de recursos humanos da empresa.

Na Tabela 5 podem ser observados os dados, assim como os resultados obtidos com a utilização da expressão, já somado ao tempo de pré-evacuação considerado na literatura e utilizado para fazer a simulação, que nestes casos foi igual a 180 segundos (três minutos).

**Tabela 5:** Cálculo do tempo de evacuação teórico para o edifício nas condições atuais

Grupo	Secção	Distância ao PE (m)	Nº Pessoas	Largura das vias de evacuação (m)	Tev teórico normal (s)	Tev teórico pânico
1 2 3	Montagem 1, Montagem 2, Montagem 3	95	78	1,2	440	756
4 5	Costura, Embalagem, Pré-montagem, Controlo qualidade final, Corte	140	43	1,0	440	907
6	Armazém Produto acabado, Oficina, gabinete e laboratório	135	9	2,2	411	861
7	Gabinete Recursos Humanos, Escritórios, Contabilidade, Gabinete médico, Sala reunião, Gabinete Gerência, Departamento Financeiro, Showroom/sala reuniões	70	16	1,4	327	560
8	Exportação, Marketing, Informática, Amostras, Estilistas, Planeamento e laser, Gabinete técnico, Biblioteca, Logística, Sala de apoio à produção e amostras	135	31	1,0	464	930
9	Armazém de Montagem, Receção de Materiais, Controlo qualidade de MP	110	2	15,0	365	732
10	Armazém peles e armazém apoio corte/costura, Armazém stock de calçado	70	8	0,8	308	541
11	Globalutions, Kyaia Comercial e armazém de apoio	55	6	0,8	293	476
12	Loja de venda ao público e porteiro	40	7	0,8	259	392
13	Refeitório	125	6	0,8	404	821

Pela análise da Tabela 5, verificou-se que o grupo que necessita de mais tempo para alcançar o ponto de encontro é o grupo 8, que incorpora todos os trabalhadores do segundo andar. Teoricamente, estas pessoas demoram 464 segundos até atingirem o ponto de encontro em situações normais e 930 segundos em caso de pânico.

O grupo que, segundo a equação anterior, mais rápido alcança o ponto de encontro é o grupo 12. Isto pode ser explicado pela curta distância a que a loja se encontra deste local e pelas poucas pessoas presentes, o que permite fluidez na fuga.

Com a modificação da planta, foram modificados alguns grupos e caminhos de evacuação. Na Tabela 6 estão representados os resultados das alterações ao plano de emergência, com o acrescento de um novo conjunto de escadas. Todas as outras equipas de evacuação se não sofrem alterações, mantendo-se, assim, os mesmos resultados obtidos no cálculo do tempo de evacuação para a planta atual.

**Tabela 6:** Cálculo do tempo de evacuação teórico para as alterações das condições do edifício

Grupo	Secção	Distâncias ao PE (m)	Nº Pessoas	Largura das vias evacuação (m)	Tev teórico normal (s)	Tev teórico pânico
1	Montagem 1 e Armazém Produto Acabado	90	34	1,6	383	683
2	Montagem 2	90	49	1,2	405	705
3	Montagem 3					
6	Oficinas	135	4	2,2	408	858

Com efeito, os resultados obtidos anteriormente não se alteram, continuando o grupo 8 a ser o que, teoricamente, mais tempo demora e o grupo 12 o que mais cedo alcança o ponto de encontro.

## 5. METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

Inicialmente, para além da simulação da evacuação numa ferramenta informática, já identificada na proposta inicial deste trabalho, estava igualmente prevista a realização de um simulacro de evacuação, envolvendo os vários trabalhadores da empresa, com o objetivo de estudar e analisar quais os fatores com influência na evacuação de uma instalação industrial, neste caso, da Kyaia. Paralelamente, pretendia-se também criar alguma familiarização dos vários trabalhadores com o sinal de alarme existente na empresa, com a planta e com os procedimentos de emergência previstos.

Os fatores em análise seriam:

- A familiarização dos trabalhadores com o edifício. Neste ponto, o que se pretendia averiguar era qual a saída utilizada e se os ocupantes têm conhecimento do local do ponto de encontro;
- A influência do número de trabalhadores por secção e a distância destes ao ponto de encontro. Nesta parte da análise, o objetivo seria investigar se o número de trabalhadores por secção e a distância destas ao ponto de encontro influenciam o tempo de evacuação;
- A influência de algumas características pessoais no comportamento e no desempenho em situações de emergência. As características consideradas seriam, em princípio, o género e a idade.

Contudo, e devido à produção elevada verificada na empresa durante o período em questão, o simulacro foi sendo adiado sucessivamente até que a autora foi informada que a realização deste apenas seria permitida fora do horário laboral. Neste contexto, entendeu-se que as condições do simulacro condicionariam bastante os resultados pretendidos e que, em tais condições, a maioria dos trabalhadores não estaria disposto a colaborar.

Face a este impasse, a proposta inicial de trabalho foi reavaliada e redefinida por forma a contemplar apenas a análise das condições de evacuação do edifício em questão através de simulações de vários cenários, com e sem plano de emergência, apenas num modelo informático de simulação, designado por Simulex.

Posto isto, e após a definição do plano de emergência foram simuladas as evacuações no programa, de forma a testar a eficiência do plano de evacuação elaborado. Ao todo foram realizados quatro testes, dois com o *layout* do edifício nas condições que se encontra atualmente e dois com algumas alterações à planta.

Nos testes realizados foram considerados dois pressupostos para cada uma das possíveis plantas, a atual e o projeto de modificação do *layout*:

- Os indivíduos não receberam formação na área da emergência, não conhecem o sinal de alarme, não sabem quais os procedimentos a pôr em prática nem qual o caminho a percorrer na fuga. Contudo, como laboram diariamente nas instalações da Kyaia, foi assumido que estão familiarizados com o edifício, escolhendo sempre, o caminho mais curto em direção ao ponto de encontro.
- Os indivíduos foram informados sobre como atuar em situações de emergência, já participaram em simulacros e sabem qual o comportamento a adotar em caso seja necessário uma evacuação. Apesar de nem sempre optarem pelo caminho mais curto, estão familiarizados com o sinal de alarme. A evacuação acontece de forma mais organizada.

Os dois cenários testados para a planta atual foram denominados de Teste 1 e Teste 2, para os ocupantes sem e com formação na área da evacuação, respetivamente. Os testes realizados na planta modificada foram chamados testes 3 e 4, quando se considera os ocupantes sem e com formação para a evacuação.

Para efetuar as simulações foi necessário introduzir informação no programa, de acordo com as condições necessárias nos diferentes testes.

## 5.1 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

Como já referido anteriormente, as evacuações foram simuladas no programa informático designado de Simulex. Este é capaz de simular a evacuação de populações numerosas de edifícios grandes e geometricamente complexos e foi inicialmente desenvolvido no âmbito do projeto de doutoramento de Peter Thompson com o tema *“Developing New Techniques for Modelling Crowd Movement”*. Com este projeto, o autor pretendia desenvolver novas técnicas para modelar a movimentação individual de cada ocupante de um edifício, modelando especificamente a aceleração/desaceleração, oscilações de velocidade e os efeitos que a invasão do espaço individual de cada ocupante tem na velocidade e direção do mesmo e na população do edifício (Thompson, 2003). Este modelo é útil em diversas vertentes, como na investigação e para o desenvolvimento e análise da evacuação de grandes populações de edifícios com geometrias complexas (Thompson & Marchant, 1995a). Os algoritmos utilizados na movimentação dos ocupantes foram baseados em informação real, recolhidos utilizando técnicas informáticas para a análise da movimentação humana. Estes algoritmos produzem parâmetros realistas de movimentos para pessoas que se deslocam em diferentes tipos geométricos de saídas. Assim, modela com precisão o formato e os movimentos do corpo de cada pessoa, individualmente, como passos, mudanças de direção, variações de velocidade, o comportamento em filas e a escolha de diferentes saídas (Olsson & Regan, 2001).

O Simulex é também utilizado pelas áreas de engenharia de proteção ao fogo, engenharia civil e arquitetura, na fase de projeto de uma construção. A aplicação desta ferramenta em edifícios grandes e geometricamente complicados é útil, pois é capaz de reconhecer áreas onde o congestionamento do grupo acontece, onde se formam filas e pode sugerir que a largura das saídas é desadequada para o número de ocupantes que serve (Thompson & Marchant, 1995a, 1995b).

De acordo com as características dos simuladores existentes apresentadas anteriormente, o Simulex apresenta as particularidades apresentadas na Figura 6.

Assim, a natureza deste simulador permite a representação do comportamento e a observação da movimentação, alcançando resultados aceitáveis, representando os caminhos e decisões de forma realista.

O espaço é representado como sendo uma rede contínua que permite que os ocupantes se desloquem através do edifício e cada pessoa é representada de forma individual, podendo assim ser representada uma população diversificada, com diferentes traços. Não é permitida a introdução de regras comportamentais por parte da utilizadora, dado que estas se encontram implicitamente representadas. O Simulex considera que cada indivíduo se encontra cercado por uma bolha de 360°, que permite manter uma distância mínima de outras pessoas, de obstáculos e da própria estrutura.

Este programa permite a importação de plantas provenientes de uma ferramenta CAD mas não permite a representação das condições de fogo. A simulação pode ser acompanhada a 2 dimensões.

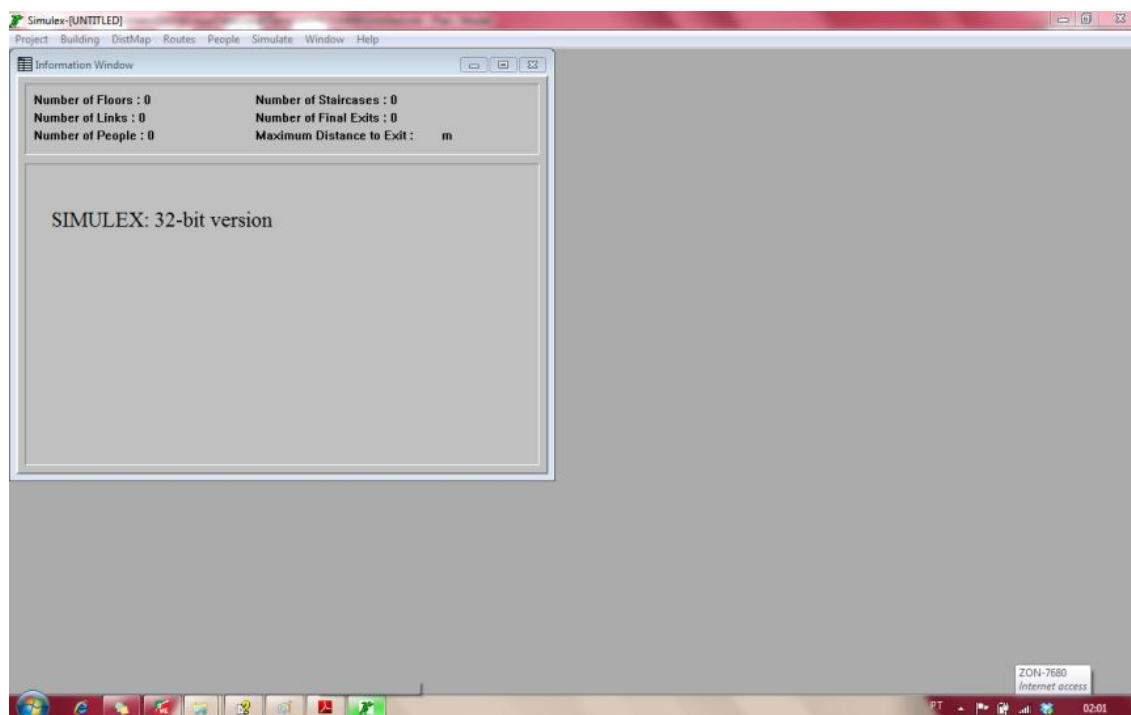
O Simulex já foi validado em simulacros anteriores e na literatura.

Natureza de simulação	Simulação
Representação do espaço	Continuous Network
Perspetiva da população	Individual
Perspetiva comportamental	Implicito
Tipo de movimentação	Distância entre pessoas
Condições de fogo	Não
CAD	Sim
Visualização	2D
Tipo de validação	Simulacros ou experiências anteriores e na literatura

**Figura 6:** Características do Simulex

Atendendo às características apresentadas, este programa mostrou ser capaz de simular a evacuação do edifício em questão, considerando os objetivos propostos.

Para ser possível a simulação da evacuação de um edifício no Simulex, foi necessário definir todo o edifício, desde os pisos até às escadas e saídas, calcular distâncias e caracterizar e distribuir pessoas, cuja configuração é feita no ecrã de entrada do simulador (Figura 7).



**Figura 7:** Ecrã de entrada no Simulex

Os passos para executar a simulação no programa são descritos ao pormenor nas secções seguintes do trabalho.

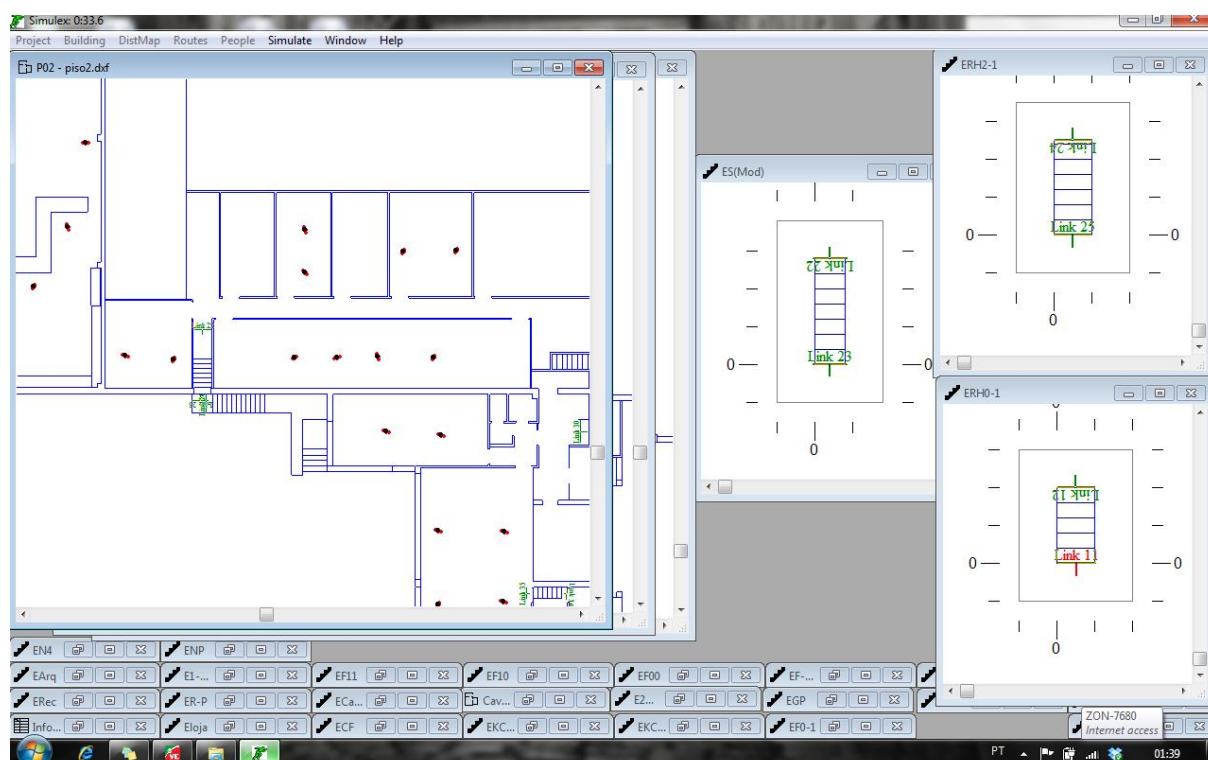
## **5.2 DEFINIÇÃO DO EDIFÍCIO**

Para inserir as plantas no Simulex é necessário definir cada piso individualmente num programa de CAD, sendo essencial eliminar todos os traços desnecessários ao formato do edifício, incluindo o movimento das portas, texto ou outras linhas irrelevantes, deixando apenas as linhas de compartimentação interior e aquelas que definem o limite exterior do edifício. Após salvar as plantas no formato .DXF, estas estão prontas para serem importadas, piso a piso, pelo Simulex.

As instalações da empresa encontram-se distribuídas por quatro pisos, onde se exercem diversas atividades, desde a conceção do produto, passando pela sua produção, expedição, entre outras. Assim, foram tratadas as plantas dos quatro pisos e importadas para o Simulex. A cada piso é atribuída uma janela dentro do programa, onde é exibida cada planta.

Os pisos importados apenas são ligados através de escadas. Estas não foram definidas pelo utilizador, mas sim pelo próprio programa, que as considera como um corredor linear 2D, ao longo do qual a velocidade de cada ocupante é diminuída, quando comparada com a velocidade num espaço horizontal normal. A utilizadora definiu apenas o comprimento, a largura e os locais que conecta.

Após a inserção das plantas e da definição das escadas foi necessário criar ligações (*links*). As escadas foram conectadas aos pisos através de dois *links*, um em cada ponta da escada. Na Figura 8 é possível a visualização dos elementos necessários para a definição do edifício.



**Figura 8:** Ecrã do Simulex - Pisos, escadas e links

Cada *link*, representado por um T maiúsculo, é composto por duas partes, com a mesma aparência. Uma parte é colocada na escada e outra no piso, formando assim a ligação entre o piso e a escada. No piso, a parte vertical do T deve estar direccionada para a escada e o mesmo acontece no *link* da escada, com a parte vertical do T a apontar para o piso.

No Simulex foram testados várias hipóteses, quer fazendo modificações ao *layout* do edifício, quer testando os resultados do comportamento dos indivíduos, com e sem a elaboração de um plano de emergência. Na

Tabela 7 são listadas todas as escadas inseridas no programa, em todas as hipóteses testadas, com nome da escada e respetiva abreviatura utilizada no programa, juntamente com informação



referente aos pisos ligados por essas escadas, assim como os *links* que fazem a ligação entre pisos e escadas. Nesta tabela está também explícita a largura e o comprimento das escadas inseridas.

**Tabela 7:** Definições nas escadas inseridas no Simulex

Nome da escada	Abreviatura utilizada	Pisos ligados	Largura	Comprimento	Links
Escadas em frente à loja	Eloja	Cave - Cave	1,8	1,4	1 e 2
Escadas do corredor da frente	ECF	Cave - Cave	3,0	1	3 e 4
Escadas do armazém da Kyaia Comercial	EArmKC	R/C - Cave	1,0	9	5 e 6
Escadas da Kyaia Comercial do R/C para R/C	EKC0-0	R/C - R/C	1,2	2	7 e 8
Escadas da Kyaia Comercial do R/C para Cave	EKC0-1	R/C - Cave	1,2	2	9 e 10
Escadas junto aos Recursos Humanos do piso 1 para o R/C	ERH1-0	1 - R/C	1,0	2	11 e 12
Escadas de entrada na Recepção	EER	1 - R/C	3,0	2	13, 14 e 15
Escadas da Recepção	ERec	1 - 1	1,4	3	16 e 17
Escadas da Cantina	ECantina	2 - 1	1,0	4,4	20 e 21
Escadas junto à Modelação	ES(Mod)	2 - 2	0,8	2,8	22 e 23
Escadas junto aos Recursos Humanos do piso 2 para piso 1	ERH2-1	2 - 1	1,0	2,5	24 e 25
Escadas que ligam o piso 2 à Produção	E2WC	2 - 1	0,8	3,6	26 e 27
Escadas que ligam o piso 2 aos gabinetes da Gerência	EGP	2 - 2	0,8	0,8	28 e 29
Escadas que ligam a Gerência à Recepção do Piso 2 ao Piso 2	EG1	2 - 2	1,2	2	30 e 31
Escadas que ligam a Gerência à Recepção do Piso 2 ao Piso 1	EG2	2 - 1	1,2	2	32 e 33
Escadas do arquivo	EA	2 - 2	0,6	1,25	34 e 35
Escadas que ligam a Recepção à Produção	ER-P	1 - 1	0,8	1,25	46 e 47
Escadas fictícias que ligam o piso 1 para o R/C	E1-RC	1 - R/C	15,0	1	36 e 37
Escadas junto à Montagem que ligam o piso 1 ao piso 1	EF11	1 - 1	1,2	2	38 e 39
Escadas junto à Montagem que ligam o piso 1 ao R/C	EF10	1 - R/C	1,2	2	40 e 41
Escadas junto à Montagem que ligam o R/C ao R/C	EF00	R/C - R/C	1,2	2	42 e 43
Escadas junto à Montagem que ligam o R/C à Cave	EF0-1	R/C - Cave	1,2	2	44 e 45
Escadas junto à Montagem que ligam a Cave à Cave	EF-1-1	Cave - Cave	1,2	2	46 e 47
Escadas Novas que ligam o piso 2 ao piso 2	EN1	2 - 2	1,2	3	48 e 49
Escadas Novas que ligam o piso 2 ao piso 1	EN2	2 - 1	1,2	3	50 e 51
Escadas Novas que ligam o piso 1 ao R/C	EN3	1 - R/C	1,2	3	52 e 53
Escadas Novas que ligam o piso R/C à Cave	EN4	R/C - Cave	1,2	3	54 e 55
Escadas novas do Planeamento	ENP	2 - 1	1,0	4,5	55 e 56

Na tabela anterior, pode ser constatada a existência de uma escada que tem três *links*, pois essas escadas são bifurcadas.

De acordo com os testes realizados, foi necessário proibir a utilização de algumas escadas a todos os utilizadores e introduzir outras, para que os ocupantes seguissem pelos caminhos pretendidos, de acordo com as necessidades de cada teste. Na Tabela 8 encontra-se uma lista das escadas utilizadas em cada teste elaborado. Por exemplo, no terceiro teste, os ocupantes podiam servir-se de todas as escadas, com exceção das EArmKC<sup>2</sup>, para fugirem mas no quarto teste, como o objetivo era estudar

<sup>2</sup> Estas escadas não existem neste teste. Foram substituídas pelas EN4.

um plano de evacuação, proibiu-se a utilização das escadas EArmKC, E2WC, EGP, ER-P e EN1 para que estas não fossem utilizadas e os ocupantes seguissem por outros caminhos.

**Tabela 8:** Escadas utilizadas nos diferentes testes efetuados

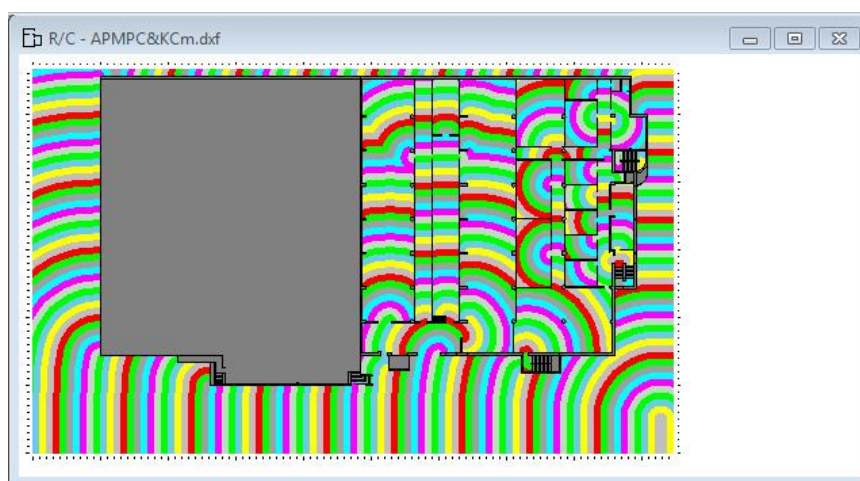
Escadas	Planta atual		Planta modificada	
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
ELoja	x	x	x	x
ECF	x	x	x	x
EArmKC	x			
EKC0-0	x	x	x	x
EKC0-1	x	x	x	x
ERH1-0	x	x	x	x
EER	x	x	x	x
ERec	x	x	x	x
ECantina	x	x	x	x
ES(Mod)	x	x	x	x
ERH2-1	x	x	x	x
E2WC	x		x	
EGP	x		x	
EG1	x	x	x	x
EG2	x	x	x	x
EA	x	x	x	x
ER-P	x		x	
E1-RC	x	x	x	x
EF11	x	x	x	x
EF10	x	x	x	x
EF00	x	x	x	x
EF0-1	x	x	x	x
EF-1-1	x	x	x	x
EN1			x	
EN2			x	x
EN3			x	x
EN4			x	x
ENP			x	x

O passo seguinte foi a definição das saídas no Simulex. Podem ser colocadas várias saídas e fazendo-se representar pela letra I maiúscula.

As saídas são compreendidas pelo Simulex como o local onde termina a simulação para os ocupantes que a atravessam. O objetivo pretendido na elaboração deste projeto foi testar o tempo que os ocupantes demoram a alcançarem o ponto de encontro. Então, considerou-se o ponto de encontro a saída a alcançar. Foram utilizadas duas saídas para o exterior, que corresponde ao local onde termina a marcha dos evacuantes. Essas duas saídas correspondem ao ponto de encontro e encontram-se teoricamente no mesmo local, mas em pisos diferentes, pois os acessos são uma rampa e a ligação entre pisos no Simulex é apenas possível por escadas.

### 5.3 CÁLCULO DO MAPA DE DISTÂNCIAS

Após a definição da geometria do edifício, o Simulex pode analisar o espaço interior do mesmo, calculando o mapa de distâncias (Figura 9) que consiste numa rede de blocos espaciais de tamanho  $0.2 \times 0.2$  metros, estando associado a cada um destes blocos um valor numérico, que o computador guarda em memória. Um algoritmo calcula a distância de qualquer ponto dentro do edifício à saída mais próxima é aplicado a todo o edifício, que resulta no mapa de distância. O Simulex calcula um mapa de distância sempre que haja, pelo menos, uma saída disponível.



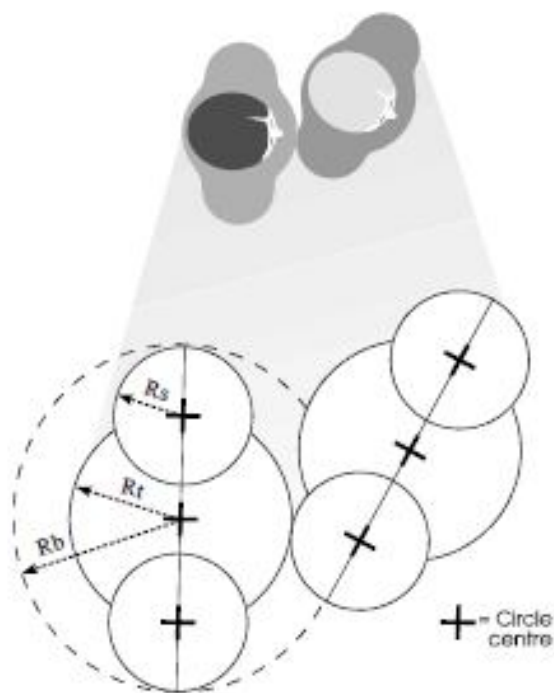
**Figura 9:** Ecrã do Simulex – Exemplo de um mapa de distâncias

Os mapas de distâncias são utilizados pelo programa para direccionar os ocupantes pela saída mais próxima disponível. Estes mapas são obrigatoriamente calculados antes da distribuição de pessoas no interior do edifício e do início da simulação. Podem ser utilizados diferentes mapas de distância, no máximo 10, o que pode ser útil quando se pretendem estudar diversas alternativas do projeto, uma vez que permite ativar ou desativar as saídas para o exterior e os *links* das escadas.

### 5.4 DISTRIBUIÇÃO DE PESSOAS

Após o cálculo dos mapas de distâncias, foram inseridos os ocupantes no programa.

Cada indivíduo é reproduzido no Simulex como um conjunto de três círculos. A Figura 10 ilustra a representação do corpo, o círculo central, com um raio  $R_t$  e dois outros círculos, representativos dos ombros, com raio  $R_s$ . A distância entre o centro do corpo e o ponto mais afastado do ombro, isto é, o raio do círculo total do corpo, é representado pela sigla  $R_b$ .



**Figura 10:** Definição do "Corpo" no Simulex (Reproduzido de IES, 2012)

O Simulex considera quatro tipos de corpos, que de acordo com a figura acima, têm as dimensões apresentadas na Tabela 9.

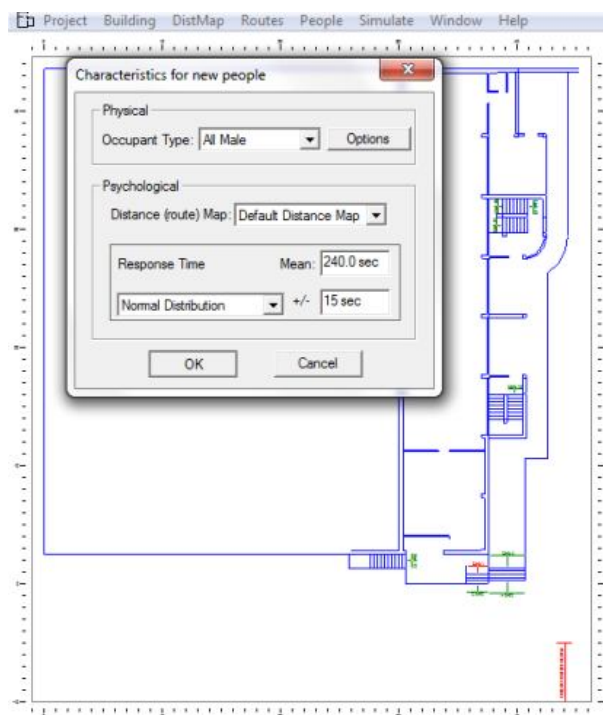
**Tabela 9:** Tamanho dos diferentes tipos de "Corpos" considerados pelo Simulex (Reproduzido de IES, 2012)

Tipo de corpo	Rb (m)	Rt (m)	Rs(m)
Médio	0.25	0.15	0.10
Homem Adulto	0.27	0.16	0.10
Mulher Adulta	0.24	0.14	0.09
Criança	0.21	0.12	0.07
Idoso	0.25	0.15	0.09

O Simulex também tem em consideração aspetos psicológicos, considerando duas vertentes: o mapa de distância, ou seja, a escolha da rota a utilizar, e o tempo de resposta ao alarme. Em relação à escolha da saída a utilizar, considerou-se que as pessoas exercem a sua atividade profissional no edifício, estando assim familiarizadas com este, daí utilizarem a saída mais próxima.

Como já foi referido anteriormente, os tempos de pré-evacuação esperados diferem caso os ocupantes tenham ou não formação na área da emergência. Então, para testar as hipóteses pretendidas foram utilizados dois tempos de pré-evacuação: 240 segundos para as hipóteses em que os ocupantes não receberam formação prévia e 180 segundos para os ocupantes preparados para uma emergência.

Após a definição das características, físicas e psicológicas dos indivíduos (Figura 11), estes podem ser distribuídos individualmente ou em grupo. Estas características são válidas até novos atributos serem introduzidos. No Simulex, os ocupantes são representados como pequenos pontos, de cor encarnada. Foram, então, distribuídas as pessoas no programa, de acordo com a Tabela 10.



**Figura 11:** Ecrã do Simulex - Definição das características dos ocupantes

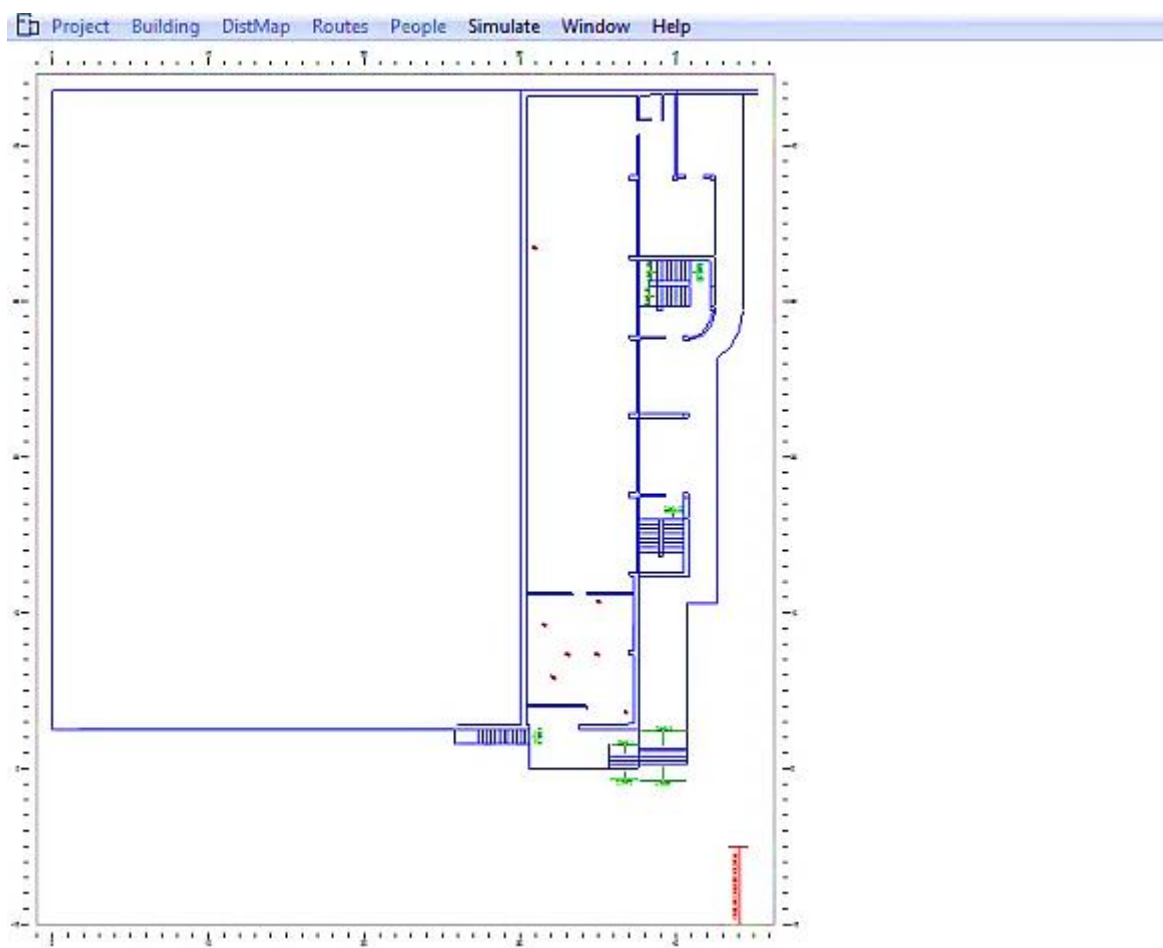
As pessoas dos escritórios foram definidas e distribuídas individualmente e as secções da produção foram distribuídas em grupo. Ao todo, foram alocados 206 ocupantes, dos quais 105 são mulheres e 101 homens.

**Tabela 10:** Distribuição de pessoas pelos diferentes pisos

Piso	Homens	Mulheres	TOTAL
Piso -1	2	5	7
Piso 0	10	4	14
Piso 1	70	65	135
Piso 2	23	27	50
<b>TOTAL</b>	<b>105</b>	<b>101</b>	<b>206</b>

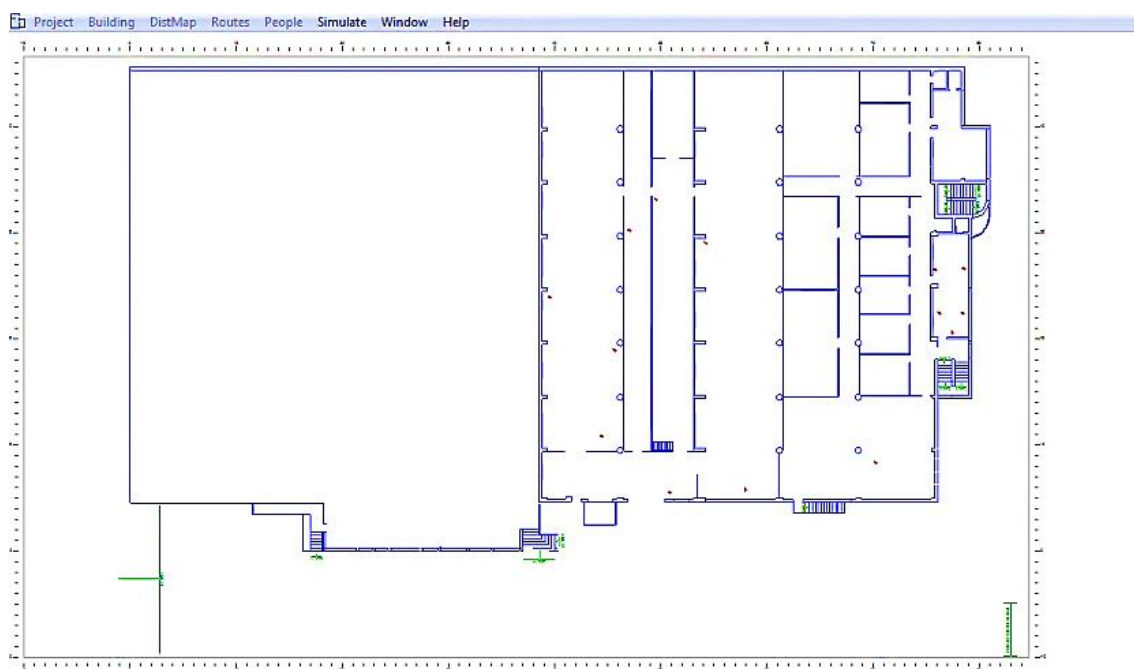
\* Considera-se que estavam presentes na loja cinco clientes, do género feminino.

Na Figura 12 estão distribuídas as pessoas no piso menos um. Neste piso, encontra-se o *outlet* da marca *FLY London* e um armazém de suporte à loja. Aqui foram inseridos os dois trabalhadores e foi considerado que se encontravam cinco clientes na loja. Este número foi considerado pois habitualmente, na loja, não se encontram muitas pessoas simultaneamente, então cinco foi o número definido.



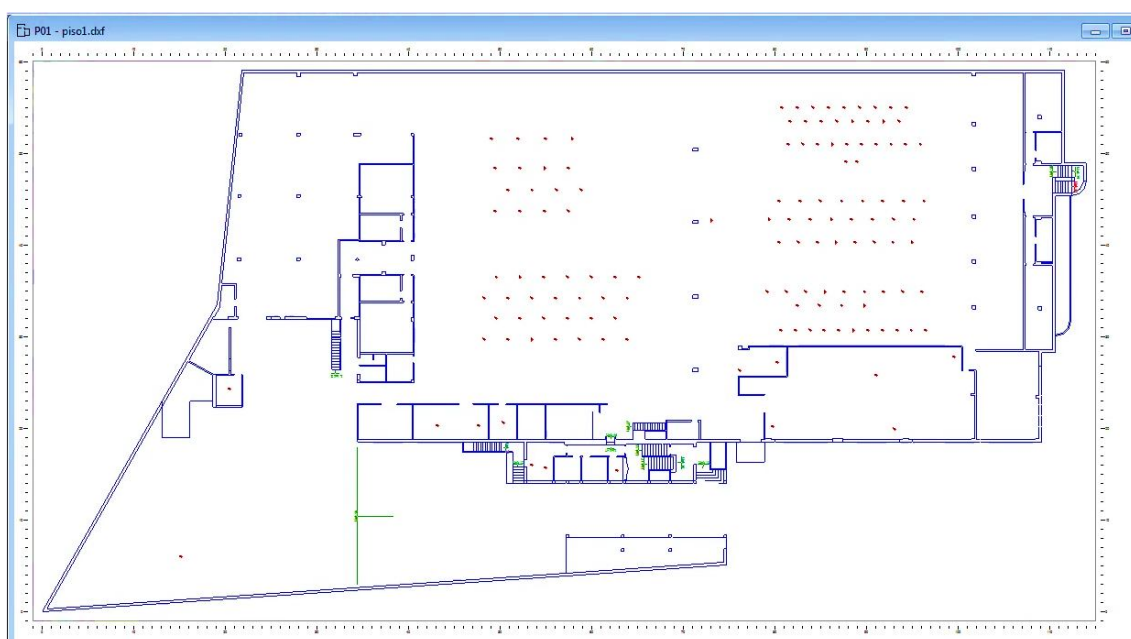
**Figura 12:** Ecrã do Simulex - Distribuição de pessoas no piso menos um

A parte que trata da comercialização de roupas e acessórios da marca, denominada Kyaia Comercial encontra-se no piso zero do edifício. Aqui estão presentes todos os dias quatro mulheres e um homem no escritório e outro homem no armazém. Ainda neste piso, mas sem ligação física à Kyaia Comercial, existe um armazém de peles e matérias-primas para a costura, que tem oito postos de trabalho. A distribuição destas pessoas pelo piso pode ser conferida na Figura 13.



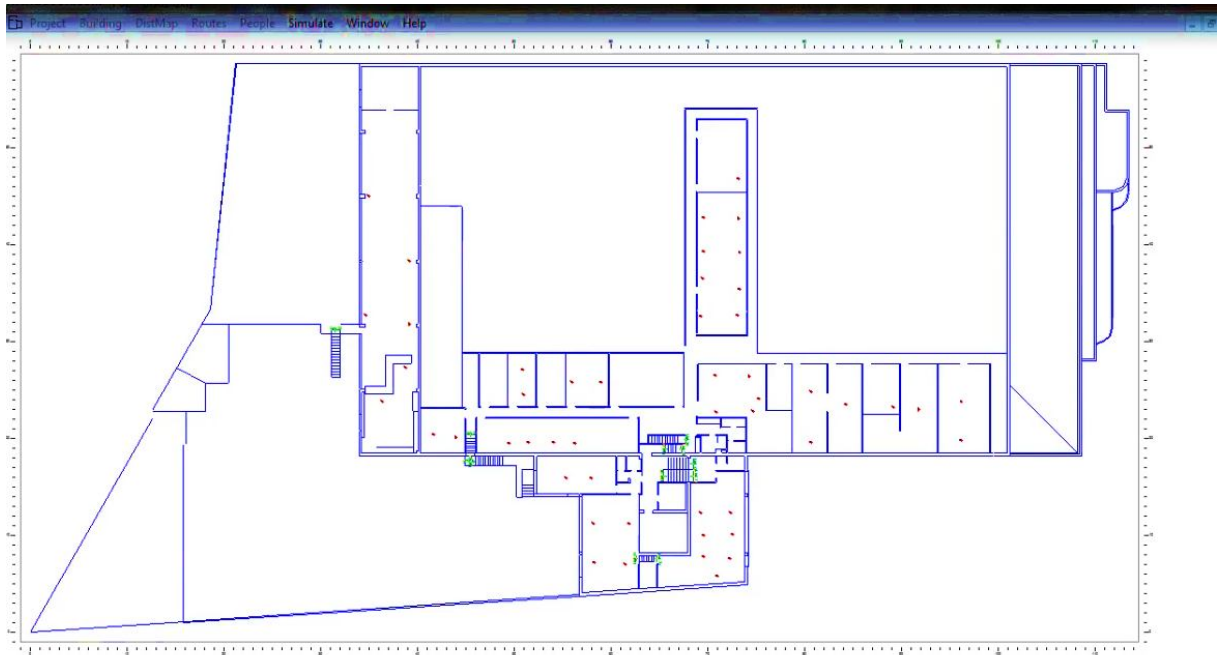
**Figura 13:** Ecrã do Simulex - Distribuição de pessoas no piso zero

No primeiro piso encontra-se o “coração” da empresa, a produção, dividida por secções. A secção do corte, onde são cortadas as peles, engloba ainda a denominada pré-costura, que aglomera operações como timbrar, facear, igualizar a pele para seguirem para a costura. Na costura efetuam-se essencialmente operações de cravar e colar a pele, resultando no produto final desta secção, as gáspeas. Daqui, as gáspeas seguem para uma das três linhas de montagem. Aqui estão também as oficinas e armazéns de suporte à secção da montagem. Neste piso foram distribuídos, ao todo 135 pessoas (Figura 14).



**Figura 14:** Ecrã do Simulex - Distribuição de pessoas no primeiro piso

Na Figura 15 está representada a alocação de pessoas no segundo piso. Este piso alberga o refeitório e vários escritórios. Aqui encontram-se vários departamentos, como o Comercial, Logístico, Planeamento, Marketing, Informático, Financeiro, *showrooms* e os gabinetes da gerência. Tem também três salas para a produção de amostras que terão de sofrer aprovação pelas partes interessadas para seguirem, ou não, para produção. No refeitório estão presentes seis mulheres e estão distribuídas pelo piso mais 46 pessoas.



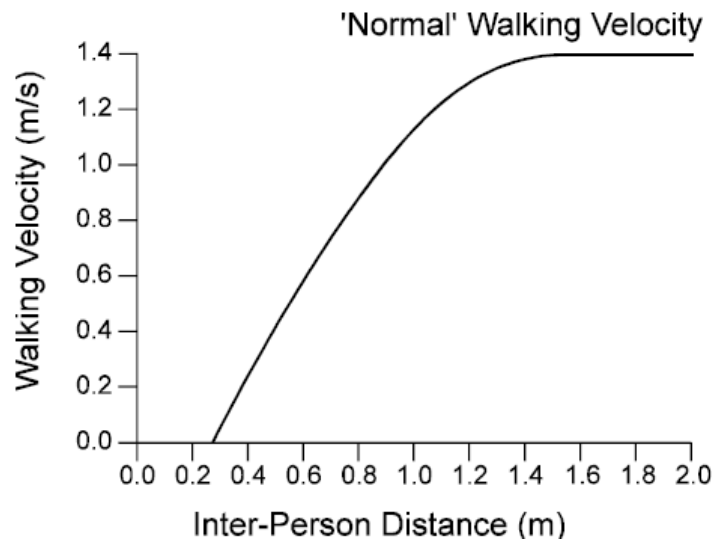
**Figura 15:** Ecrã do Simulex - Distribuição de pessoas no segundo piso

## 5.5 SIMULAÇÃO

Quando todas as pessoas estão definidas e o projeto gravado em disco, o Simulex está preparado para iniciar a simulação. O teste começa clicando em "*Simulate*", no ecrã do Simulex e selecionando a hipótese "*Begin*". Após a ordem de começo, os ocupantes demoram algum tempo a iniciar a fuga, pois apenas iniciam a sua marcha de escape após o tempo de pré-evacuação e dirigem-se para a saída mais próxima.

A velocidade de marcha de cada indivíduo pode variar, dependendo da proximidade do ocupante mais próximo. No gráfico ilustrado na Figura 16 é possível notar que uma pessoa em frente a outra vai reduzir a velocidade do indivíduo em questão. A distância entre as pessoas é definida como a distância entre os centros dos corpos de duas pessoas.



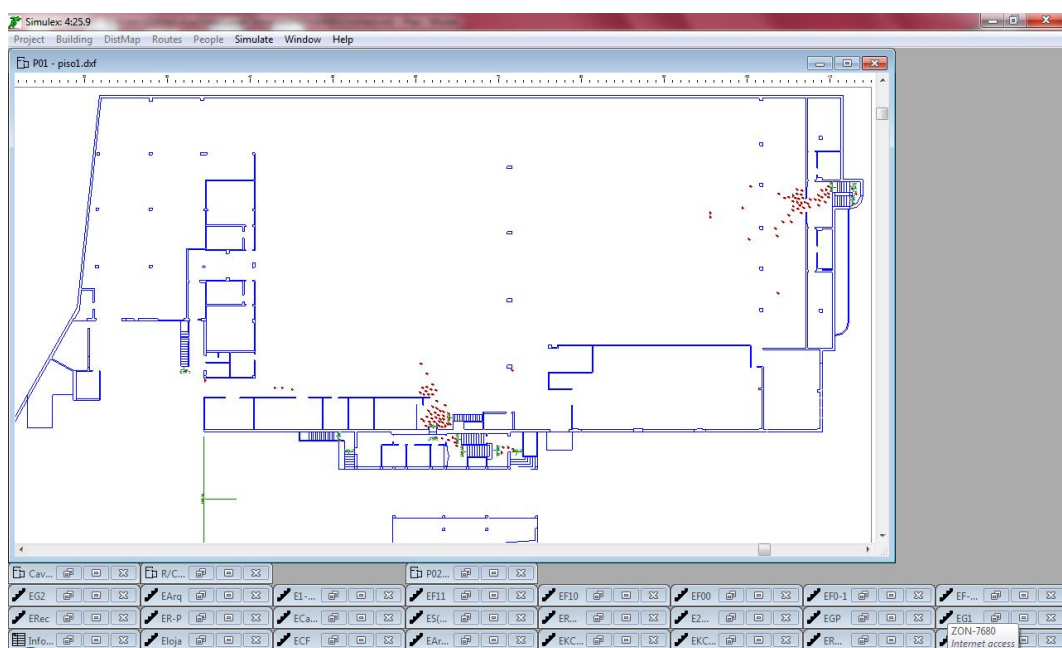


**Figura 16:** Relação entre a velocidade de marcha e a distância entre pessoas (Reproduzido de IES, 2012)

A velocidade nas escadas é reduzida quando comparada a superfícies horizontais. A velocidade em escadas no sentido descendente é metade quando comparada com a velocidade atingida num piso horizontal e a celeridade em sentido ascendente é apenas 0.35 vezes a velocidade em plano. A velocidade normal em superfícies desimpedidas é escolhida aleatoriamente no intervalo entre 0.8 – 1.7 m/s.

Cada pessoa desloca-se para a saída mais próxima através do mapa de distâncias selecionado, que define a distância de qualquer ponto dentro do edifício até uma saída.

Quando os indivíduos encontram uma passagem mais estreita ou escadas podem acontecer engarrafamentos, como é notório na Figura 17, dois congestionamentos em duas escadas.



**Figura 17:** Ecrã do Simulex – Evacuação em movimento

A simulação não acontece em tempo real, acontece a uma velocidade mais elevada. No início da simulação existe a opção de a gravar para ser vista posteriormente. Quando repetida, a simulação acontece em tempo real.

No final da simulação é apresentado o tempo total de evacuação e é produzido um ficheiro de texto (.txt) com informação detalhada sobre todo o processo.

## 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Centenas de pessoas foram distribuídas pelo edifício, tendo sido possível à utilizadora acompanhar o movimento de cada uma delas no decorrer da simulação. Cada pessoa dirige-se para a saída, utilizando um mapa de distâncias, que define o afastamento de qualquer ponto dentro do edifício até uma saída.

Durante estes testes, verificaram-se formações de congestionamentos em todos os cenários testados. Na planta atual foram detetados erros no planeamento da evacuação e é notória uma melhoria quando é utilizada a planta modificada e se considera que os ocupantes receberam formação prévia.

Por cada cenário estudado foram efetuadas dez repetições, em que os tempos médios de evacuação conseguidos com a realização das simulações dos cenários propostos podem ser conferidos na tabela abaixo, onde é evidente uma redução do tempo de evacuação quando existe um planeamento da emergência.

**Tabela 11:** Tempos obtidos nos diferentes testes realizados

Tempo total de evacuação (segundos)	
Teste 1	408
Teste 2	361
Teste 3	422
Teste 4	335

Apenas pela observação dos valores apresentados na tabela, pode-se afirmar que o tempo de evacuação da planta atual não diminuiu conforme o esperado. Para compreender os valores alcançados foram analisadas as escolhas dos caminhos de evacuação por parte dos ocupantes, teste a teste, e comparados os tempos de evacuação para os grupos com e sem formação, nas plantas atual e modificada.

### 6.1 ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DAS ROTAS DE EVACUAÇÃO

No decorrer das quatro simulações das hipóteses estudadas, foi possível à utilizadora acompanhar o trajeto da fuga por parte dos indivíduos durante todo o tempo, desde o aviso de emergência, passando pelo início da marcha de fuga, até serem atingidas as saídas.

De forma a compreender e analisar os resultados obtidos nas simulações efetuadas, foram estudadas as rotas de evacuação utilizadas, assim como a percentagem de população que utiliza cada uma para abandonar o edifício.

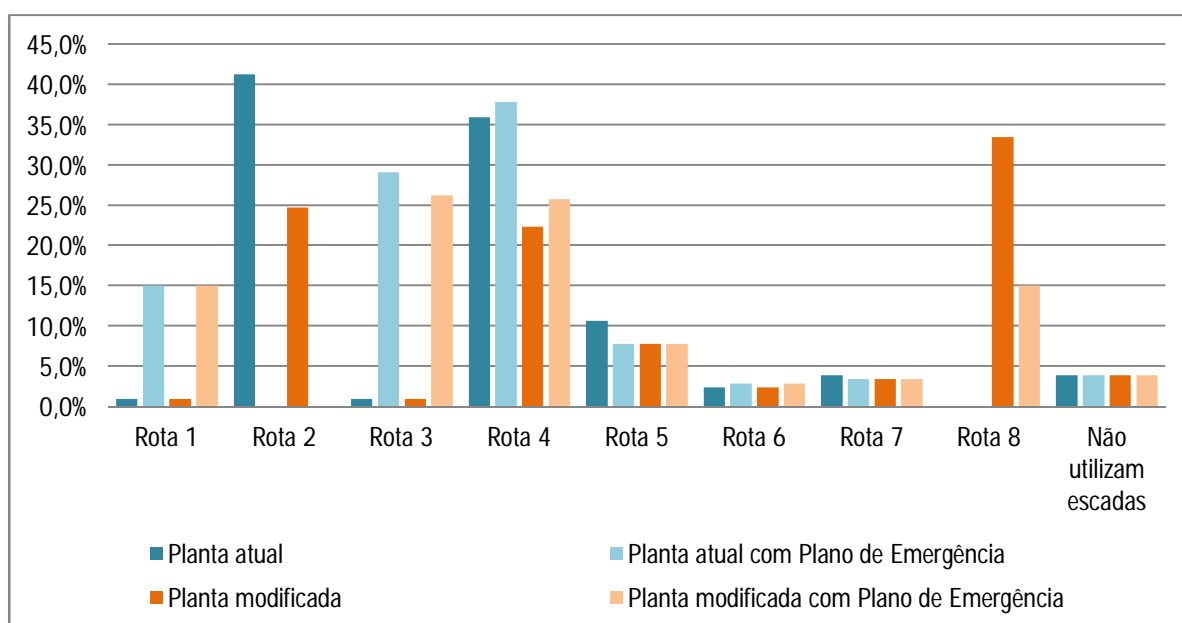
Cada caminho definido corresponde ao conjunto de escadas que é necessário atravessar para atingir o ponto de encontro. Foram então definidas sete rotas para a planta normal e oito para a planta modificada. Assim, pode ser conferido na Tabela 12 o número de pessoas que utiliza cada rota em cada situação testada.

**Tabela 12:** Distribuição de pessoas pelos caminhos de evacuação

Rota	Caminho utilizado	Planta atual		Planta modificada	
		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
1	ES(Mod)→ERH2-1→ERH1-0	2	31	2	31
2	E2WC→ER-P→ERec→EER	85	0	51	0
3	ECantina→E1-RC	2	60	2	54
4	EF11→EF10→EF00→EF0-1→EF-1-1→ECF	74	78	46	53
5	EGP→EG1→EG2→ERec→EER	22	16	16	16
6	EKC0-0→EKC0-0→ECF	5	6	5	6
7	EArmKC→ELoja	8	7	7	7
8	EN1→EN2→N3→N4→Eloja	*	*	69	31
Não utilizam escadas		8	8	8	8

\*Esta rota não existe na planta normal

Para facilitar a percepção visual da escolha das diferentes rotas por partes dos ocupantes, foi elaborado um gráfico (Figura 18) com as percentagens de utilizadores por cada rota, para as diferentes hipóteses estudadas.

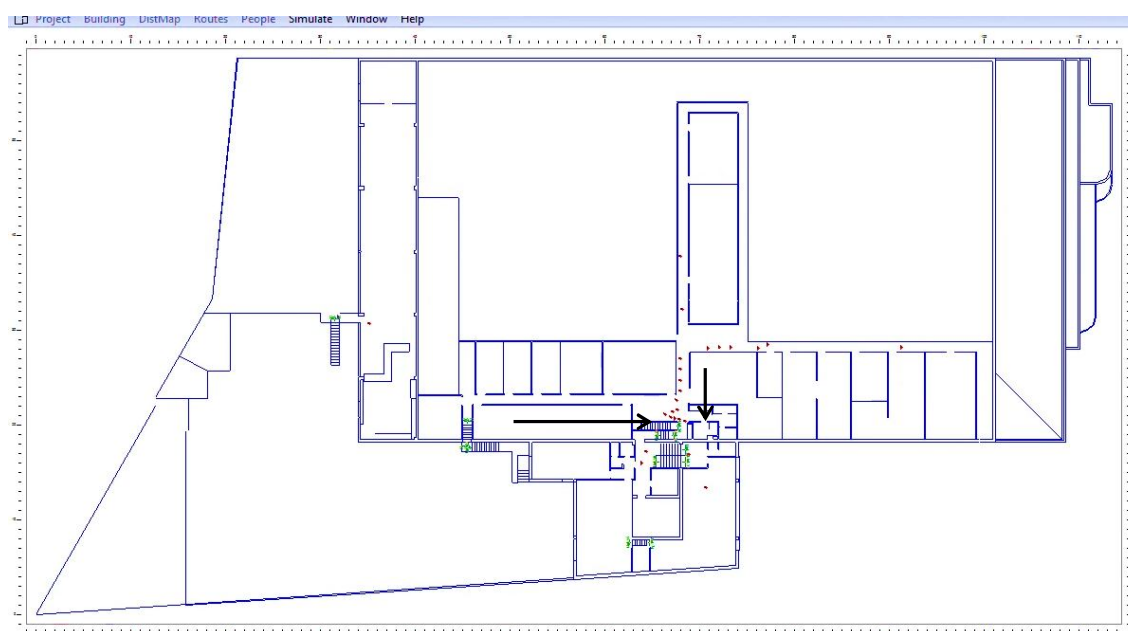


**Figura 18:** Percentagem de utilizadores por cada rota

Neste gráfico é evidente que a distribuição de pessoas pelas diversas saídas não é linear nos testes em que as pessoas não têm treino na área da emergência e evacuação. Mesmo assim, apenas com a elaboração de um plano de emergência para a planta atual, ainda acontecem alguns congestionamentos. De seguida é analisado o gráfico da Figura 18 para cada teste efetuado.

### **TESTE 1:**

Pela observação do gráfico presente na Figura 18 e da Figura 19 é notório que apenas uma pequena percentagem de pessoas que ocupam o 2º piso utiliza a Rota 1 neste teste. Isto deve-se à existência de mais duas rotas opcionais neste piso.



**Figura 19:** Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do segundo piso da planta atual

As pessoas deste andar optaram maioritariamente pela Rota 2, utilizando as escadas que ligam o piso ao local da produção e outras ainda que ligam a produção à receção. Nestas últimas escadas forma-se uma fila bastante grande, pois estes acessos são bastante estreitos, com uma largura de aproximadamente 0,8 metros, sendo utilizados tanto pelas pessoas que advêm do piso 2 como pela maior parte das pessoas das secções de corte e da costura, das oficinas e do armazém de expedição. Ao todo, 85 pessoas utilizaram essas escadas na marcha de evacuação. Assim criou-se um ponto muito problemático, com um grande congestionamento devido à pequena largura e à elevada taxa de utilização.

Ainda neste itinerário aconteceu um cruzamento de fluxos, pois a Rota 2 e a Rota 5 partilham duas escaleiras, criando-se assim mais confusão. As 85 pessoas provenientes da Rota 2 cruzaram-se com os 22 utilizadores da Rota 5, enfrentando dificuldades em continuar a marcha.

A Rota 5 foi utilizada pelos indivíduos dos departamentos de contabilidade e financeiro, pelos gerentes, pela rececionista e por duas pessoas responsáveis pelos recursos humanos. Neste teste existiram algumas pessoas do 2º andar que invadiram este itinerário. A confusão que foi criada no piso 1 é facilmente constatada na Figura 20.



**Figura 20:** Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do primeiro piso da planta atual

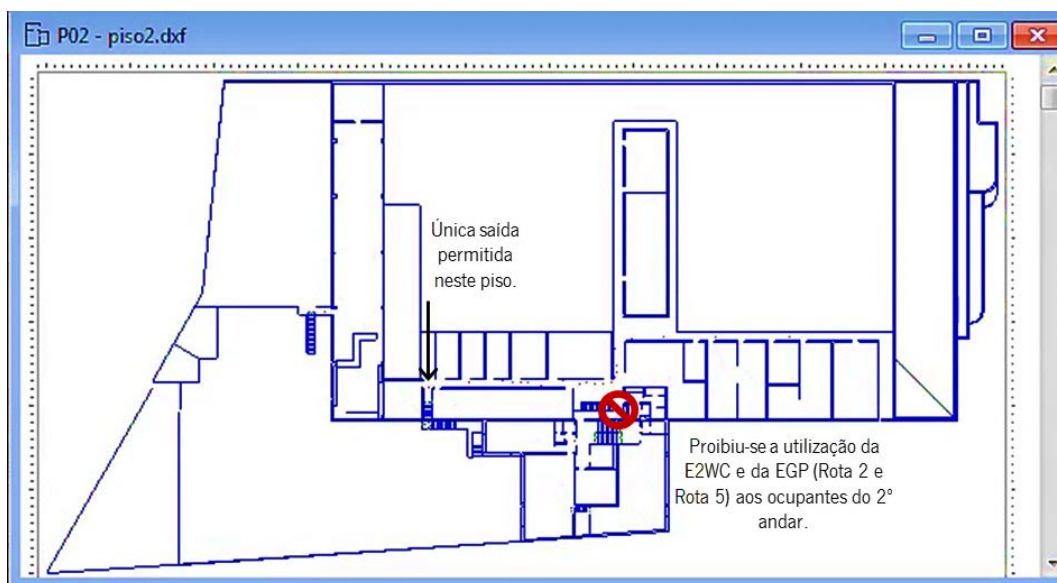
Os trabalhadores das linhas de montagem optaram, quase todos, pela Rota 4, provocando outro dos pontos complicados no abandono das instalações da *Kyaia*. Os ocupantes que elegeram a Rota 4 e a Rota 2 foram os últimos a alcançar a saída, sendo estes os últimos a evacuar completamente.

As restantes rotas não representaram pontos problemáticos, sendo a Rota 6 utilizada pelos trabalhadores dos escritórios da *Kyaia* Comercial e a Rota 7 utilizada pelo responsável pelo armazém da *Kyaia* Comercial e pelos clientes e responsáveis da loja de venda ao público da empresa.

### **TESTE 2:**

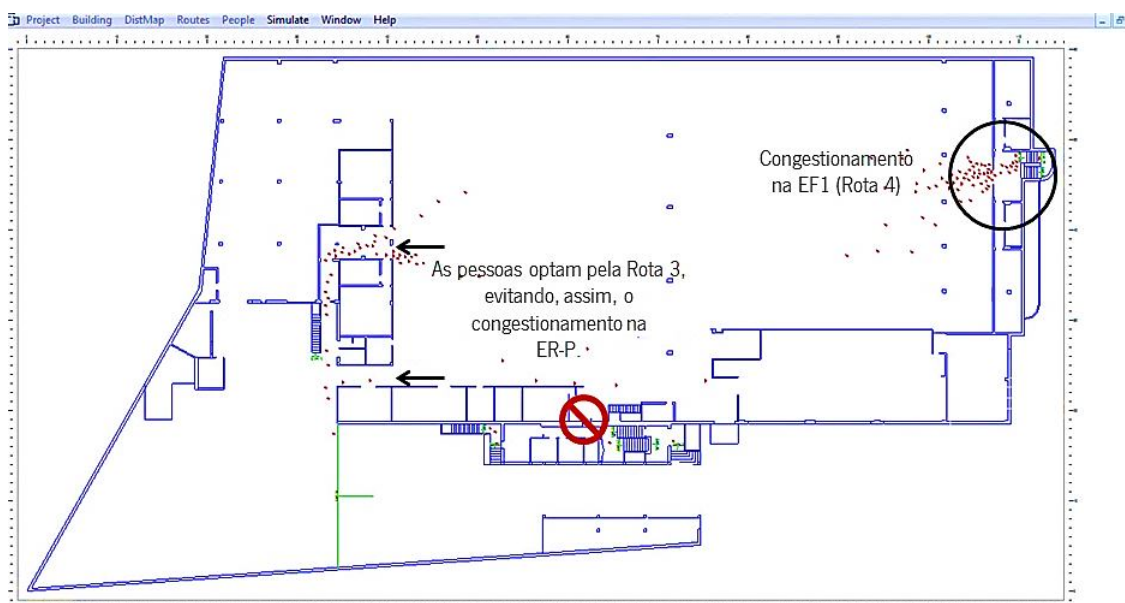
Foi, então, introduzido o plano de emergência definido. Para evitar a fila formada nas escadas que ligam a receção à produção foram tomadas medidas, como proibir a utilização da Rota 2, encaminhando os ocupantes para outras saídas (Figura 21). As pessoas que utilizavam esta rota do 2º piso foram encaminhadas para a Rota 1 e as pessoas do 1º piso que utilizavam a Rota 2 no teste anterior passaram a utilizar a Rota 3. Enquanto no primeiro teste a percentagem de pessoas que utilizava este caminho era de apenas de 1%, neste cresceu para cerca de 30%. Aqui não foram encontrados problemas de engarrafamento pois as escadas têm uma largura bastante grande, cerca de 15 metros, com capacidade para dar resposta a bastantes pessoas, sem que isso represente um

problema. Na Rota 1 também não foram notados congestionamentos porque, apesar de a saída e as escadas serem estreitas, com cerca de 1 metro de largura, o tempo que demora até ser alcançada pelos diversos ocupantes varia, o que permitiu que o tráfego fluísse sem dificuldades.



**Figura 21:** Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do segundo piso da planta atual com plano de emergência

Quanto à fuga pela Rota 4 a situação sofreu um ligeiro agravamento em relação ao teste anterior pois todos os elementos das três linhas de montagem passaram a utilizar este conjunto de escadas, o que não acontecia previamente. No teste anterior esta rota era utilizada por 74 pessoas e neste passou a ser usada por 78. Assim, este problema, representado na Figura 22 e já verificado anteriormente, não foi resolvido com a elaboração de um plano de emergência.



**Figura 22:** Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do primeiro piso da planta atual com plano de emergência

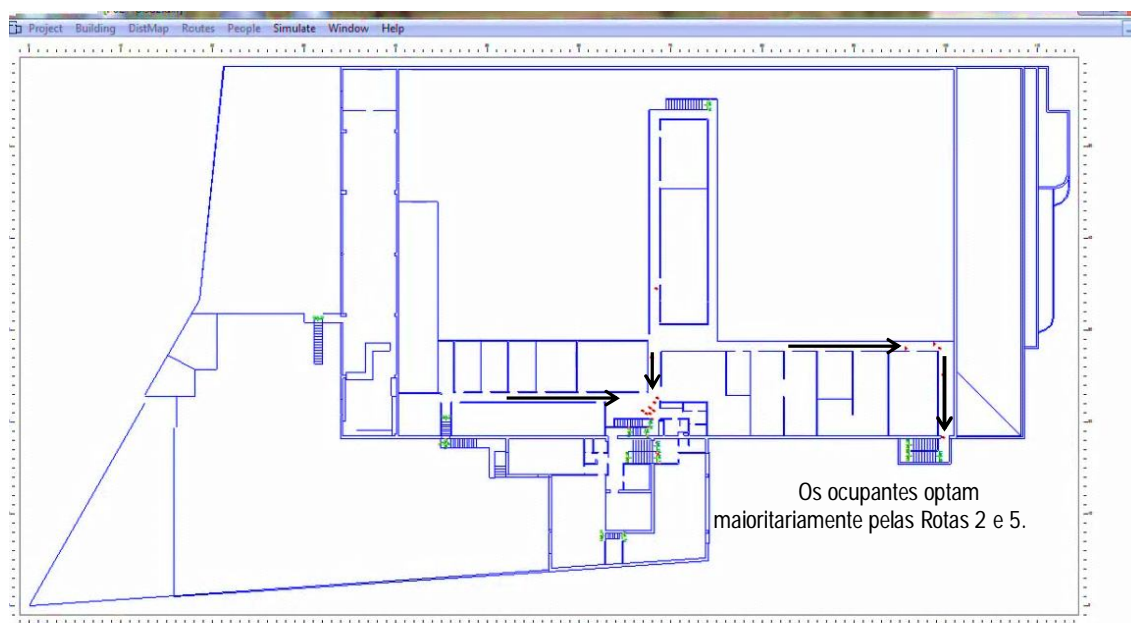
A Rota 5 apenas foi utilizada pelas pessoas dos gabinetes e da receção, não ocorrendo qualquer tipo de obstrução.

A fuga das instalações da Kyaia Comercial, através da Rota 6, sofreu apenas uma pequena alteração com a organização de emergência, tendo sido proibida a utilização das escadas do armazém da Kyaia Comercial, ficando a Rota 7 exclusiva para os funcionários e clientes da loja. Estes trajetos não eram críticos, estas resoluções foram impostas apenas para facilitar a organização da emergência.

### **TESTE 3**

Mesmo com a organização da emergência na *Kyaia* não foram obtidos os resultados desejados em termos de diminuição de tempos de evacuação. Deste modo, testou-se a proposta de modificação à planta do edifício. Neste teste, a Rota 2 voltou a causar problemas, mesmo que bastante menores quando comparados com os resultados do primeiro teste e a Rota 4, com as escadas da montagem, apresentou resultados muito melhores, com um menor congestionamento do que o verificado nos testes anteriores. O número de pessoas que utilizam este caminho desceu de 78 no teste anterior para 46 neste teste. Este facto e a diminuição de pessoas a evacuar pela Rota 2 é resultado da introdução de um caminho novo.

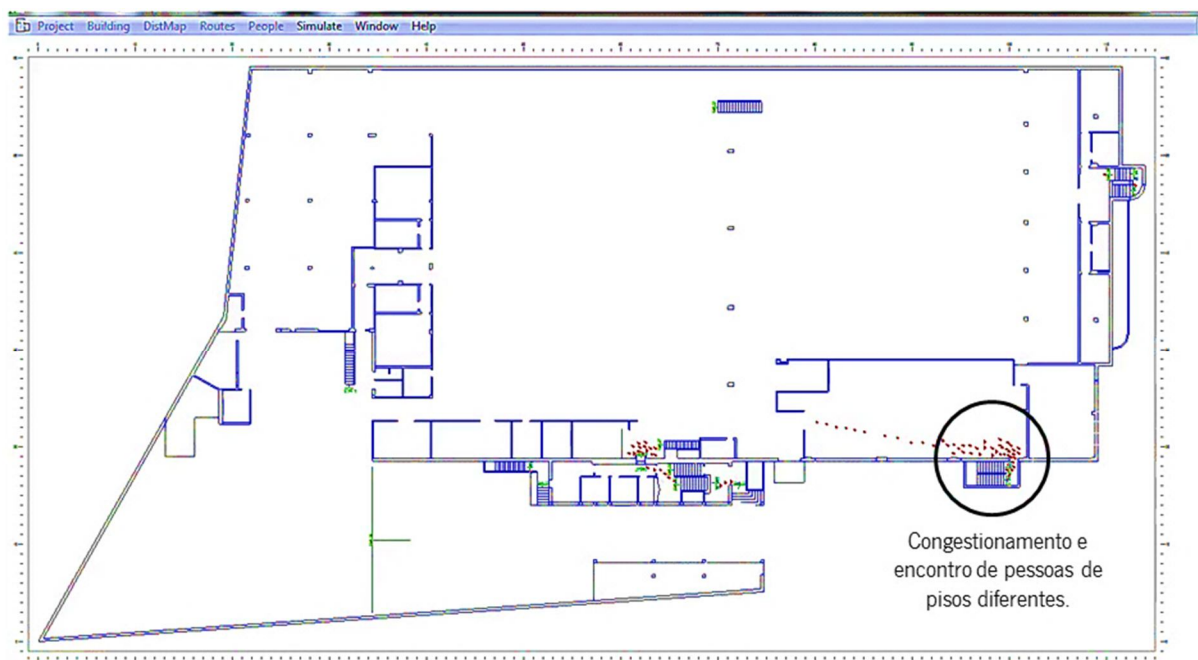
A nova rota introduzida (Rota 8) é um conjunto de escadas colocadas na posição das escadas EArmKC, mas com conexão entre todos os pisos. Assim, quando testada a evacuação desta planta verificou-se que estas escadas foram largamente utilizadas, tanto por algumas pessoas do piso 2 (Figura 23) como por alguns trabalhadores das linhas de montagem e do armazém de expedição no piso 1 (Figura 24).



**Figura 23:** Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do segundo piso da planta modificada



Ao facto de já serem bastantes pessoas a utilizarem estas escadas, acrescentou-se uma intersecção entre as pessoas que descem do segundo piso com as do primeiro piso, que já se encontravam nas escadas, o que congestionou ainda mais a movimentação tanto de um grupo de pessoas como de outro. Isto resultou numa fila, tanto para entrar nas escadas como nas escadas, em si.



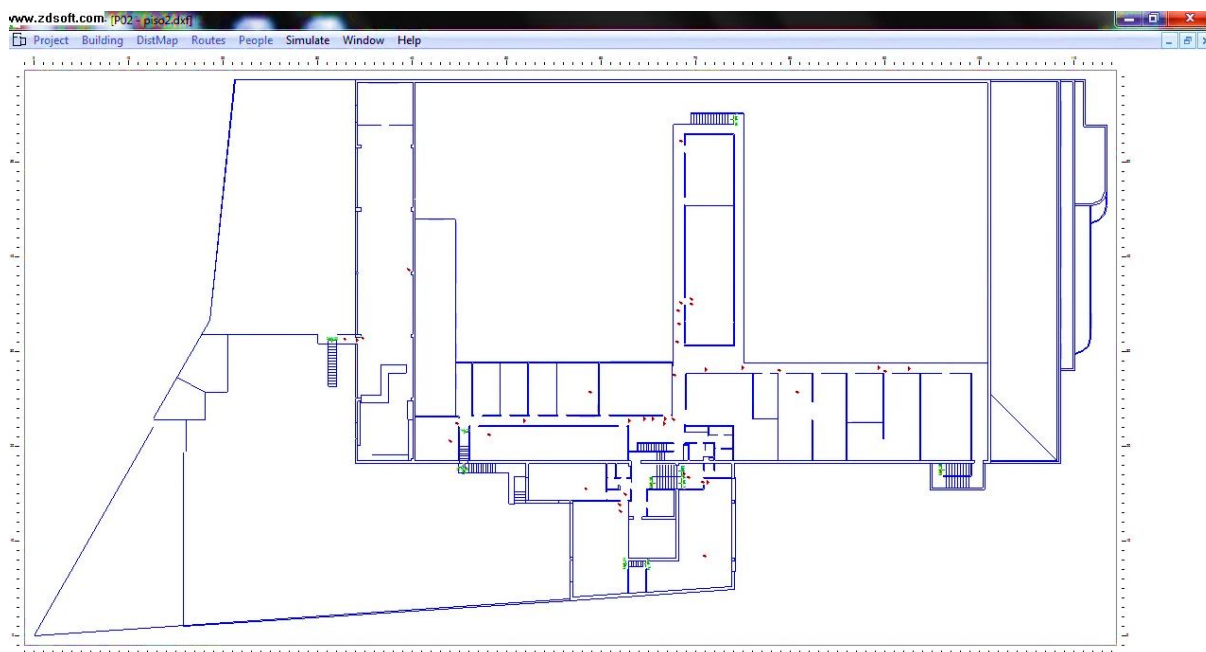
**Figura 24:** Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do primeiro piso da planta modificada

Os resultados obtidos nas rotas 1, 3, 5, 6 e 7 nesta prova são semelhantes com os resultados obtidos no primeiro teste.

#### **TESTE 4**

Com um novo plano de emergência para a planta modificada, a simulação apresentou melhores resultados, com tempos de evacuação menores e com filas de menor intensidade.

A organização da emergência é semelhante à da planta atual. Os ocupantes do segundo andar não puderam utilizar as escadas novas, a Rota 8, nem a Rota 2, como pode ser verificado na Figura 25. Dirigiram-se para o ponto de encontro através da Rota 1, evitando assim a intersecção de grupos no decurso da nova rota e da, antes problemática, Rota 2. Nesta rota não ocorreu formação de fila, apesar de ser utilizada por 31 pessoas. Este facto deve-se à distribuição equilibrada de pessoas pelo piso, resultando em diferentes distâncias, logo as pessoas alcançam as escadas em períodos diferentes.



**Figura 25:** Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do segundo piso da planta modificada com plano de emergência

No primeiro piso, o piso onde ocorre a produção do calçado, as pessoas que fazem parte da secção de montagem 1 e as que laboram no armazém de expedição adotaram a nova rota, enquanto as restantes secções deste andar seguiram as instruções do segundo teste efetuado. Esta medida amenizou a utilização da Rota 4, porque apenas duas linhas de montagem a utilizaram, em vez das três, como na planta atual. A percentagem de pessoas que utilizaram esta rota diminuiu assim de 38% no segundo teste para 25% neste. Na Figura 26 é visível a organização da emergência nesta planta.



**Figura 26:** Ecrã do Simulex durante a simulação da evacuação do primeiro piso da planta modificada com plano de emergência

As restantes rotas continuaram sem representar contratempos, decorrendo a evacuação de forma fluida, sem formações de filas.

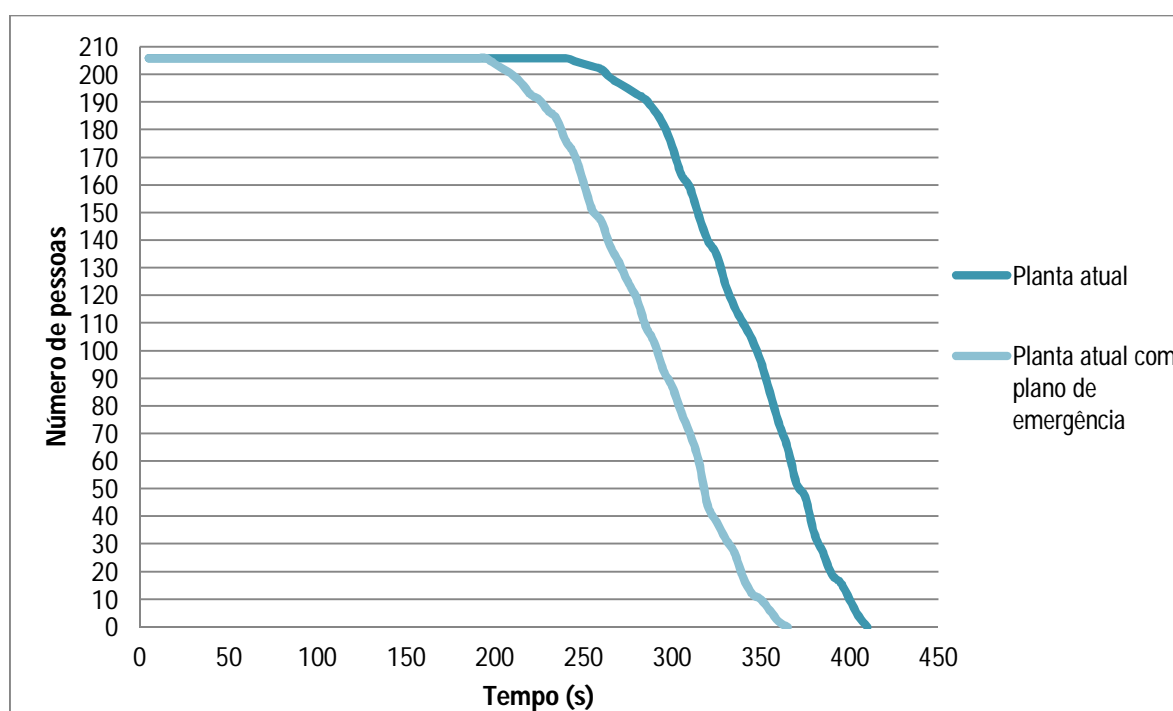
Pode ser comprovado pelo gráfico presente na Figura 18, pela Tabela 12 e mesmo pelas Figuras 25 e 26 que neste teste houve uma distribuição mais equilibrada das pessoas pelos percursos de evacuação disponíveis e os congestionamentos observados nos testes anteriores são reduzidos e alguns mesmo eliminados, permitindo a redução do tempo de evacuação, o que, por vezes, pode ser decisivo na preservação da vida humana.

## 6.2 COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE EVACUAÇÃO OBTIDOS

De maneira a testar se o planeamento da emergência é eficaz na diminuição do tempo de evacuação, foram comparados os cenários em que os sujeitos receberam formação na área com os que não foram formados.

### 6.2.1 PLANTA ATUAL

Foram comparados os dois primeiros cenários, a simulação da evacuação do edifício utilizando a planta atual, primeiro com os ocupantes a saírem pelas saídas que se encontram mais perto e outro com os indivíduos a evacuarem de forma organizada, mesmo que não usem as saídas mais próximas. No gráfico da Figura 27 pode ser vista a evolução do número de pessoas que falta atingir o ponto de encontro nos testes realizados na planta atual. por exemplo, no segundo 150, ainda nenhum evacuante atingiu a saída, em nenhum dos testes.



**Figura 27:** Evolução do número de pessoas que falta atingir o ponto de encontro nos testes efetuados na planta atual

Nos primeiros segundos de simulação da evacuação nenhum ocupante iniciou o andamento de fuga devido ao tempo de pré-evacuação, que representa o tempo de reconhecimento e reação à situação. Assim, como foram introduzidos dois tempos nas hipóteses examinadas, o tempo de início de marcha difere. A diferença do tempo de pré-evacuação é de um minuto entre as hipóteses testadas, demorando os ocupantes do teste 1 cerca de 240 segundos a reagir (quatro minutos) e os indivíduos instruídos 180 segundos (três minutos).

O tempo de evacuação no segundo teste não diminuiu conforme o esperado, apenas diminuiu 47 segundos, o que não perfaz o tempo de pré-evacuação retirado ao primeiro cenário. Este facto deve-se a um maior número de pessoas a optarem pela Rota 4, um ponto já complicado no primeiro cenário, atrasando assim a evacuação. Verificou-se a formação de uma fila ainda maior, e daí não foi conseguido o resultado esperado, que seria uma diminuição mais acentuada do tempo de evacuação.

Ao analisar o gráfico da Figura 27, conclui-se que, neste caso, a organização da emergência ajudou na familiarização dos indivíduos com o sinal de alarme e com os procedimentos de emergência, tornando a reação mais rápida mas não a evacuação em si.

### **6.2.2 PLANTA MODIFICADA**

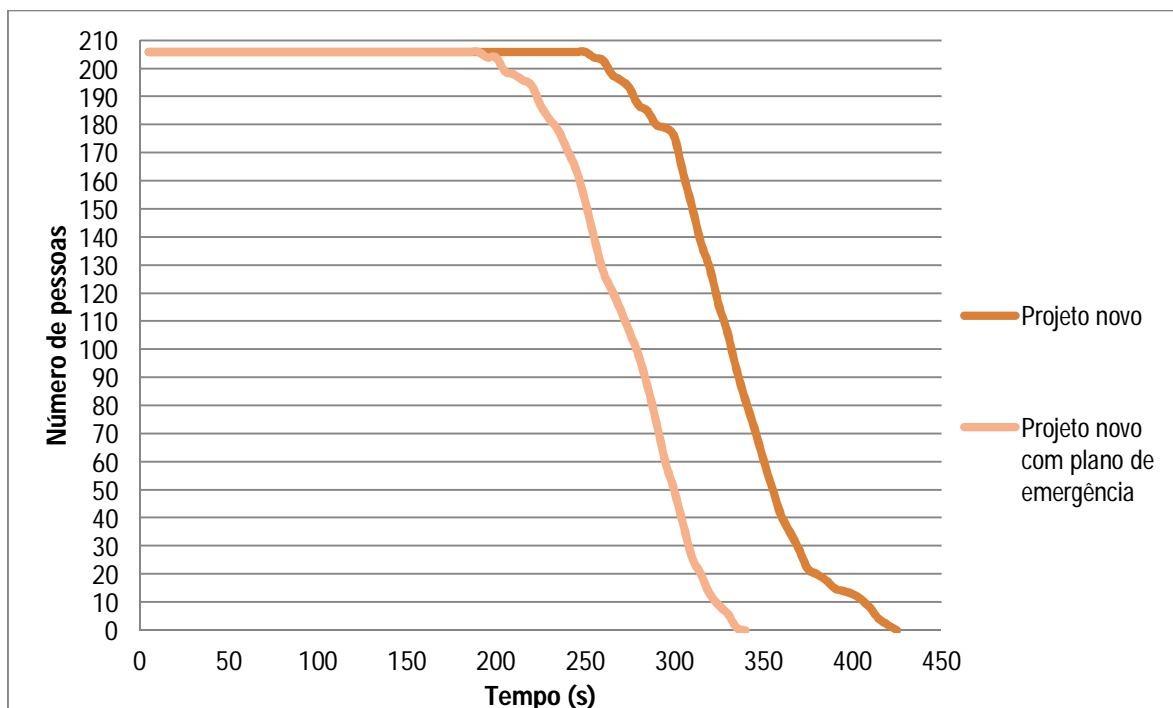
A *Kyaia* tem ainda em perspetiva a realização de modificações nas instalações, com o acréscimo de novas escadas a fim de encurtar e facilitar a evacuação das pessoas que laboram diariamente no edifício.

Foram então comparados os resultados obtidos para as simulações da evacuação da planta em projeto, com e sem organização da emergência, presente na Figura 28. Os tempos de pré-evacuação nestas duas opções são os mesmos utilizados na planta analisada anteriormente.

A introdução de novas passagens para o exterior criou alguma confusão, pois transferiu o problema para si. Cerca de um terço da população passou a optar por este caminho, criando filas e cruzamento de pessoas nas escadas, pois os sujeitos que abandonavam o piso 2 por esta rota intersetavam o caminho dos que fugiam do piso 1 pelo mesmo conjunto de escadas.

Ao organizar a emergência e diminuir um minuto ao tempo de reação ao alarme, é notória uma maior organização, sem ocorrência de filas grandes, permitindo aos indivíduos abandonar as instalações mais rapidamente e em segurança.

A evacuação do edifício pelos indivíduos com instruções demora menos um minuto e 35 segundos do que a evacuação do cenário em que os ocupantes não receberam formação.



**Figura 28:** Evolução do número de pessoas que falta atingir o ponto de encontro nos testes efetuados na planta modificada

### 6.3 COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE EVACUAÇÃO TEÓRICOS COM OS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO

Por fim, foi efetuada uma comparação entre os tempos obtidos teoricamente e os tempos obtidos com a simulação da evacuação no Simulex.

Para esta comparação, foram apenas considerados os resultados teóricos normais e não os de pânico. O Simulex também considera as pessoas em condições normais, não em pânico.

A informação relevante do estudo, como o tempo de evacuação, o grupo mais lento e o mais rápido, está resumido nas tabelas seguintes. Na Tabela 13 encontra-se a informação referente ao edifício nas condições atuais e na Tabela 14 está a informação alusiva ao edifício com a modificação da planta.

**Tabela 13:** Comparação dos resultados teóricos com os obtidos na simulação da evacuação da planta atual

	Planta Atual	
	Expressão teórica	Simulação
<b>Tempo (min)</b>	464	361
<b>Grupo mais demorado</b>	Grupo 8	Conjunto grupos 1, 2 e 3
<b>Grupo menos demorado</b>	Grupo 12	Grupo 12

Teoricamente, o tempo de evacuação é 1 minuto e 43 segundos mais elevado que o tempo obtido através da simulação no Simulex, sendo o grupo mais demorado o que provem do segundo piso, o que não se verifica na simulação. O último grupo a alcançar a posição final na simulação foi o conjunto das três equipas da montagem e não o grupo oito, como verificado no cálculo teórico. Apesar de o grupo do segundo piso se encontrar a uma maior distância do ponto de encontro, não ocorreu a formação de

filas, como aconteceu com o conjunto dos grupos da montagem no início da via de evacuação vertical. Tal pode ser explicado pela elevada quantidade de pessoas que utiliza estas escadas e pela densidade de utilização.

Neste panorama o grupo que mais cedo alcança o ponto de encontro coincide nos dois estudos efetuados, o grupo 12, os ocupantes da loja.

De seguida são analisados os resultados conseguidos para a planta alterada.

**Tabela 14:** Comparação dos resultados teóricos com os obtidos com a simulação de evacuação da planta modificada

<b>Planta Modificada</b>		
	<b>Expressão teórica</b>	<b>Simulação</b>
<b>Tempo (min)</b>	464	335
<b>Grupo mais demorado</b>	Grupo 8	Conjunto grupo 4 e 5
<b>Grupo menos demorado</b>	Grupo 12	Grupo 12

O tempo de evacuação teórico para a nova planta é igual ao tempo calculado anteriormente para a planta atual, continuando o grupo 8, o do segundo piso, a ser o mais lento mas, na simulação, o grupo mais demorado passou a ser o conjunto dos grupos 4 e 5. As filas verificadas nesta simulação não são significativas, havendo um bom escoamento para o exterior dos ocupantes da empresa considerada. O primeiro grupo a chegar ao ponto de encontro volta a coincidir na teoria e na simulação, e volta a ser o grupo 12.

A diferença entre os tempos teóricos e os simulados pode acontecer devido a diferentes velocidades de circulação considerada pelos métodos comparadas, sendo a velocidade para cálculo teórico de 0,6 m/s e no Simulex a velocidade pode variar entre 0,8 e 1,7 m/s.

## 7. CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta dissertação teve como base a organização da emergência na Kyaia e posterior simulação da evacuação do edifício, sob quatro possíveis cenários. Baseado neste pressuposto e na revisão bibliográfica apresentada foi possível formular algumas conclusões.

O plano de emergência de qualquer edifício representa uma enorme importância pois familiariza os indivíduos sujeitos a ele com o sinal de alarme, com os caminhos de evacuação e com procedimentos de emergência a adotar.

Visto que, normalmente, os simulacros são realizados uma única vez, não é permitida a mudança no plano de evacuação, mesmo se forem detetados erros. Para evitar tal situação existem os simuladores de evacuação, onde podem ser testadas várias hipóteses de caminhos e podem ser detetados e corrigidos erros, antes de ser posto em prática num simulacro real.

Pela análise das simulações de evacuação efetuadas, pôde concluir-se que o tempo de evacuação é função de um conjunto de fatores, não sendo necessariamente função das distâncias percorridas, ou seja, uma maior distância não significa necessariamente um maior tempo de evacuação. Pode afirmar-se que o tempo de evacuação é função da interação entre a distribuição de pessoas, a distância de cada uma delas à saída, a largura das vias de evacuação, horizontais e verticais, caso existam.

A distribuição dos trabalhadores pelos caminhos de evacuação pode ter influência direta no tempo de evacuação, pois quando há uma distribuição não equilibrada dos grupos pelos caminhos de evacuação formam-se filas, o que atrasa a fuga.

Por fim, concluiu-se que os tempos de evacuação obtidos com o cálculo através de uma expressão teórica são sensivelmente mais elevados que os obtidos na simulação e os grupos mais demorados também não coincidem. Este facto pode ocorrer devido a diferentes velocidades conseguidas na simulação.

Como tal, a autora acha pertinente o desenvolvimento de uma cultura de segurança por parte da empresa em estudo. Formar os seus colaboradores acerca dos procedimentos que devem tomar em situações de emergência pode marcar a diferença entre a vida e a morte. A realização periódica de simulacros proporciona aos colaboradores o conhecimento e a localização de emergência, muitas vezes desconhecidos, em condições que não ponham em causa a integridade física.

Tendo em conta a limitação deste estudo, nomeadamente o facto de não ter sido possível a realização do simulacro, são enumerados alguns trabalhos de investigação futura.

Como continuação deste projeto, futuramente devem ser testados os dois primeiros cenários simulados no programa, com as condições atuais do edifício e comparados resultados.

O primeiro teste deve ocorrer sem aviso prévio, e devem ser acompanhadas todas as movimentações dos ocupantes, grupo a grupo. Após este teste, devem ser analisadas as escolhas dos indivíduos e comparadas com os resultados para o mesmo teste do Simulex para serem formuladas conclusões acerca do comportamento humano e investigados e corrigidos os erros cometidos. De seguida, deve ser dada formação aos trabalhadores, sobre quais as suas responsabilidades em caso de emergência e sobre qual o comportamento a adotar em caso de emergência, com respetivo simulacro. Este deve ocorrer posteriormente, sem aviso antecedente. Desta forma os colaboradores da Kyaia ficam preparados para uma eventual emergência, diminuindo a probabilidade de danos e perdas de vida.

Paralelamente aos simulacros, deve determinar-se o tempo desde o sinal de alarme até ao início das movimentações de fuga, designado por tempo de pré-evacuação. Estes testes servirão também para, potencialmente, validar os tempos de pré-evacuação previstos na literatura.



## BIBLIOGRAFIA

- Bryan, J. L. (1992). Human Behavior and Fire *Fire Protection Handbook* (17<sup>o</sup> ed.). Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- CFPA-Europe. (2009). European Guideline: Fire safety engineering concerning evacuation from buildings (Vol. 19:2009). Estocolmo.
- Coelho, A. L. (1997). *Modelação matemática da evacuação de edifícios sujeitos à acção de um incêndio*. Unpublished Dissertação de Doutoramento, Portugal.
- Fahy, R. F. & Proulx, G. (2009, 13 de Julho de 2009). 'Panic' and human behavior in fire. Paper presented at the Proceedings of the 4th International Symposium on Human Behavior in Fire, Robinson College, Cambridge, GB.
- Fergusson, L. H. & Christopher, A. J. (2005). Fundamentals of Fire Protection *Life Safety in Buildings*, 141-157.
- Goldenson, R. M. (1984). *Longman Dictionary of Psychology and Psychiatry*. Nova Iorque: Longman.
- Google. (2012). Edifício da Kyaia - Fortunato O. Frederico & C. Lta- Penselo, Guimarães, *Google Maps*.
- Gwynne, S., Galea, E. R., Lawrence, P. J. & Filippidis, L. (2001). Modelling occupant interaction with fire conditions using the buildingEXODUS evacuation model. *Fire Safety Journal*, 36, 327-357.
- Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J. & Filippidis, L. (1999). A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Building and Environment*, 34, 741-749.
- IES. (2012). Simulex User Guide.
- Keating, J. P. (1982). The myth of panic. *Fire Journal*, 76 (3), 57-61.
- Kendik, E. (1995). *Methods of Design for Means of Egress: Towards a Quantitative Comparison of National Code Requirements*. Paper presented at the Fire Safety Science - Proceedings of the 1st International Symposium
- Kobes, M., Helslot, I., Vries, B. d. & Post, J. (2010a). Exit choice, (pre-) movement time and (pre-)evacuation behaviour in hotel fire evacuation - Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research. *Procedia Engineering*, 3, 37-51.
- Kobes, M., Helslot, I., Vries, B. d. & Post, J. G. (2010b). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45, 1-11.
- Kobes, M., Helslot, I., Vries, B. d., Post, J. G., Oberijé, N. & Groenewegen, K. (2010c). Way finding during fire evacuation; an analysis of unannounced fire drills in a hotel at night. *Building and Environment*, 45, 537-548.
- Kuligowsky, E. D. & Peacock, R. D. (2005). *A Review of Building Evacuation Models*. National Institute of Standards and Technology.
- Kuligowsky, E. D., Peacock, R. D. & Hoskins, B. L. (2010). *A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition*. National Institute of Standards and Technology.
- MAPFRE (Ed.). (1997). *Manual de seguridad contra incendios* Madrid: Fundación MAPFRE Estudios
- Meacham, B. F. (1999). Integrating human behavior and response issues into fire safety management of facilities. *Facilities*, 17(9/10), 303-312.
- Miguel, A. S. (Ed.). (2010). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho* (11<sup>a</sup> Edição ed.). Porto: Porto Editora.
- Miguel, A. S., Góis, J. & Silva, J. (2010). Study on workers' evacuation in an industrial company. *Safety Science*, 48, 1050-1053.
- Nilsson, D. & Johansson, A. (2009). Social influence during the initial phase of a fire evacuation - Analysis of evacuation experiments in a cinema theatre. *Fire Safety Journal*, 44, 71-79.
- O'Connor, D. J. (2005). Integrating Human Behavior Factors Into DESIGN. *Fire Protection Engineering*.

- Olsson, P. A. & Regan, M. A. (2001). A comparison between actual and predicted evacuation times. *Safety Science*, 28, 139-145.
- Oven, V. A. & Cakici, N. (2009). Modelling the evacuation of a high-rise office building in Istanbul. *Fire Safety Journal*, 44, 1-15.
- Ozel, F. (2001). Time pressure and stress as a factor during emergency egress. *Safety Science*, 38, 95-107.
- Paulsen, R. L. (1984). Human behavior and fires: an introduction. *Fire Technology*, 20(2), 15-27.
- Pires, T. T. (2005). An approach for modeling human cognitive behavior in evacuation models. *Fire Safety Journal*, 44, 177-189.
- Proulx, G. (2003). Playing with fire: understanding human behavior in burning buildings. *ASHRAE Journal* 45(7), 33-35.
- Proulx, G. (2007, 15 de Maio de 2007). *High-rise office egress: the human factors*. Paper presented at the Symposium on High-Rise Building Egress Stairs, Nova Iorque.
- Sagum, A., Bouchlaghem, D. & Anumba, C. J. (2011). Computer simulations vs. building guidance to enhance evacuation performance of buildings during emergency events. *Simulation Modelling Practice and Theory* 19, 1007-1019.
- Shi, J., Ren, A. & Chen, C. (2009). Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions. *Automation in Construction* 38, 338-347.
- Shields, T. J. & Boyce, K. E. (2000). A study of evacuation from large retail stores. *Fire Safety Journal*, 35, 25-49.
- Silva, J. M. P. (2007). *Análise de factores condicionantes da evacuação de trabalhadores numa unidade industrial*. FEUP, Porto.
- Sime, J. D. (1995). Crowd psychology and engineering. *Safety Science*, 21, 1-14.
- Sime, J. D. (2001). An occupant response shelter escape time (ORSET) model. *Safety Science*, 38, 109-125.
- Thompson, P. A. (2003). Simulex: simulated people have needs too.
- Thompson, P. A. & Marchant, E. W. (1995a). A Computer Model for the Evacuation of Large Building Populations. *Fire Safety Journal*, 24, 131-148.
- Thompson, P. A. & Marchant, E. W. (1995b). Testing and Application of the Computer Model 'SIMULEX'. *Fire Safety Journal*, 24, 149-166.

# ANEXOS

<u>Condições de combate a Incêndio</u> .....	a
<u>Deteção e alarme</u> .....	a
<u>Combate a incêndio</u> .....	a
<u>Cálculo da distribuição dos extintores</u> .....	b
<u>Plano de evacuação</u> .....	c

## **ANEXO I - CONDIÇÕES DE COMBATE A INCÊNDIO**

Para combater um incêndio de forma eficaz com o mínimo de desgaste é primordial agir rapidamente. Isto implica a existência de uma organização de defesa contra o fogo, comportando:

- Meios de deteção de fogo desde o início e alertar os bombeiros (da empresa e da corporação mais próxima);
- Material de extinção apropriado e sempre em condições de funcionamento;
- Pessoal instruído nas diferentes medidas de proteção a tomar e no emprego dos diferentes meios de extinção.

### **DETEÇÃO E ALARME**

Na empresa em estudo, não há uma forma definida de deteção e alarme em caso de incêndio.

As instalações fixas de deteção de incêndio permitem a deteção e a localização automática do incêndio, assim como a colocação, de forma automática ou semiautomática, do plano de alarme.

Após a análise dos principais detetores de incêndio, sugere-se a colocação de um localizador ótico de chamas para a zona da produção, que possui um pé direito de cerca de 18 metros e uma área bastante grande. Para os escritórios e gabinetes, propõe-se a instalação de detetores óticos de fumos.

### **COMBATE A INCÊNDIO**

O Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios determina que, na ausência de outro critério de dimensionamento devidamente justificado, os extintores devem ser distribuídos de modo a que se disponha de uma quantidade mínima de produto extintor equivalente a 18 litros de água (agente extintor padrão) por 500 m<sup>2</sup> de superfície ou fração. Deverá existir um extintor por cada 200 m<sup>2</sup> de superfície ou fração, com um mínimo de dois por piso.

Ao longo do edifício estão distribuídos vários extintores de pó seco ABC, que são muito eficientes no ataque ao fogo, não sendo tóxicos, nem corrosivos ou abrasivos. Apresentam, contudo, alguns inconvenientes, como deterioração de circuitos elétricos e eletrónicos e a diminuição da visibilidade motivada pela disseminação dos mesmos.

A água, espumas e o pó seco não podem ser utilizados em instalações elétricas em tensão. Nesses casos devem ser utilizados extintores de dióxido de carbono e hidrocarbonetos halogenados. Junto aos quadros elétricos estão colocados extintores de CO<sub>2</sub>.

### CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DOS EXTINTORES

Piso	Área (m²)	Quantidade mínima de PEP (l)	Localização do Extintor	Carga do extintor (kg)		Quantidade de PEP por extintor (l)	Quantidade de PEP Existente por área (l)
Cave	372	18	Portaria	6	Pó Seco	12	24
			Loja	6	Pó Seco	12	
R/C	662	36	Kyaia Comercial	6	Pó Seco	12	24
				6	Pó Seco	12	
	920	36	Armazém Peles	6	Pó Seco	12	14,68
				2	CO2	2,68	
1º Piso	3750	144	Produtos Químicos	6	Pó Seco	12	144,12
			Quadro	5	CO2	6,7	
			Receção	6	Pó Seco	12	
			Armazém Montagem	6	Pó Seco	12	
			Quadro Corte	6	Pó Seco	12	
			Parede Costura	6	Pó Seco	12	
			Quadro Costura	2	CO2	2,68	
			Armazém de peças	2	CO2	2,68	
				2	CO2	2,68	
			Serralharia	2	CO2	2,68	
			Parede Laboratório	6	Pó Seco	12	
			Quadro Montagem	5	CO2	6,7	
			Embalamento	6	Pó Seco	12	
			Montagem 1	6	Pó Seco	12	
			Montagem 2	6	Pó Seco	12	
			Montagem 3	6	Pó Seco	12	
2º Piso	240	18	Cantina	6	Pó Seco	12	12
	785	36	Escadas Caracol	6	Pó Seco	12	72
			Escadas	6	Pó Seco	12	
			Laser	6	Pó Seco	12	
			Planeamento	6	Pó Seco	12	
			Comercial	6	Pó Seco	12	
			Estilistas	6	Pó Seco	12	
	251	18	Contabilidade	6	Pó Seco	12	12

Pela análise da tabela anterior, nem todas as áreas do edifício dispõem da quantidade mínima de agente extintor padrão, como é o caso da *Kyaia* comercial, do armazém peles, da cantina e da zona da contabilidade.

O segundo piso tem três extintores desnecessários, que poderiam ser transferidos para outras zonas, onde são necessários. Por exemplo, um extintor poderia ser transmutado para a *Kyaia* Comercial, outro para o armazém de peles e outro para a zona da Contabilidade. Para a cantina bastaria a aquisição de um novo extintor com carga de três quilogramas de pó seco ABC.

## **ANEXO II - PLANO DE EVACUAÇÃO**

De forma a assegurar a segurança máxima possível de todos os indivíduos presentes nas instalações na *Kyaia*, trabalhadores, fornecedores ou clientes, foi efetuado um plano de emergência. Então, foram distribuídas responsabilidades e formadas equipas de evacuação, com respetivo responsável e abre-filas, bem como definidas saídas a utilizar em caso de emergência por cada grupo.

As Equipas de Evacuação estão disponíveis na tabela seguinte, onde podem ser consultadas várias informações, como a distribuição das equipas, o responsável, o abre filas por equipa e também as saídas a utilizar em caso de emergência. Caso esta saída não esteja disponível, existem alternativas, apontadas também na tabela.

As saídas alternativas devem ser utilizadas unicamente se as saídas principais estiverem impedidas por alguma razão.

Equipa	Secções	Número Pessoas	Responsável	Abre-Fila	Saída de emergência	Saída alternativa
1	Montagem/acabamento 1	29	João Castro	Amândio Faria	Escadas junto à montagem	Corredor da Receção de Matérias Primas
2	Montagem/acabamento 2	24	Jorge Oliveira	Domingos Matos	Escadas junto à montagem	Corredor da Receção de Matérias Primas
3	Montagem/acabamento 3	25	Sérgio Marques	José Cunha	Escadas junto à montagem	Corredor da Receção de Matérias Primas
4	Costura, Embalagem, Pré-montagem, Controlo qualidade final	27	Ana Maria	Adelaide Freitas e Maria José	Vestiários junto ao corte e costura	Corredor da Receção de Matérias Primas
5	Corte	16	Jaime Silva	Domingos Silva	Vestiários junto ao corte e costura	Corredor da Receção de Matérias Primas
6	Armazém Produto acabado, Oficina, gabinete e laboratório	9	Alberto Ribeiro	Adelino Machado	Corredor da Receção de Matérias Primas	Saída da receção
7	Gabinete Recursos Humano, Escritórios, Contabilidade, Gabinete médico, Sala reunião, Gabinete Gerência, Departamento Financeiro, Showroom/sala reuniões	16	Júlio Vieira	Fátima Fernandes	Saída da receção	Escadas junto à sala de modelação
8	Exportação, Marketing, Informática, Amostras, Estilistas, Planeamento e laser, Gabinete técnico, Biblioteca, Logística, Sala de apoio à produção e amostras	31	Filomena Matos	Ricardo Rodrigues e José Manuel	Escadas junto à sala de modelação	Saída da receção
9	Armazém de Montagem, Receção de Materiais, Controlo qualidade de MP	2	José Sousa	Pascoal Silva	Portão de acesso aos armazéns da Montagem	*
10	Armazém peles e armazém apoio corte/costura, Armazém stock de calçado	8	Emídio Monteiro	Daniel Oliveira	Porta Armazém Peles e MP para a costura	Portão Armazém Peles e MP para a costura
11	Globalutions, Kyaia Comercial e armazém de apoio	6	Ângela Cardoso	Nicolau Ribeiro	Escadas dos escritórios da Kyaia Comercial	Escadas do armazém da Kyaia Comercial
12	Loja de venda ao público e porteiro	7	João Pinto	Júlio Costa	Saída da loja	*
13	Refeitório	6	Fátima	Sara	Escadas da Cantina	*

\* - Apenas possui a saída principal

Com a modificação da planta, as equipas de evacuação sofrem uma pequena alteração, mostradas na tabela seguinte.

Equipa	Secções	Número Pessoas	Responsável	Abre-Fila	Saída de emergência	Saída alternativa
1	Montagem/acabamento 1 Armazém do produto acabado	34	João Castro	Amândio Faria	Escadas junto ao armazém de expedição	Corredor da Receção de Matérias Primas
6	Oficina, gabinete e laboratório	4	Alberto Ribeiro	Adelino Machado	Corredor da Receção de Matérias Primas	Saída da receção

Para facilitar a identificação de pessoas por parte do responsável no caso de emergência, no início de cada dia, este deve levantar no gabinete dos recursos humanos uma lista com os presentes da equipa, nessa data.

Em caso de emergência irá soar um alarme para alertar todos os ocupantes do edifício para o facto de terem de o abandonar. Quando os trabalhadores ouvirem este sinal devem cessar a tarefa que estão a efetuar e, se for o caso, desligar o equipamento. Cada grupo deve organizar-se e o responsável deve conferir se todos os elementos estão reunidos, de acordo com a lista distribuída no início desse dia. Assim que o grupo estiver todo reunido, deve dirigir-se para o ponto de encontro de forma organizada, o mais rapidamente possível, utilizando o caminho de emergência referente a cada grupo. O primeiro indivíduo de cada grupo deve ser a pessoa designada para “abre-filas” e o último deve ser o responsável, garantindo que todos os elementos pertencentes ao grupo consigam proceder à evacuação.

A marcha de fuga deve ser ordeira, o mais rápida possível, mas sem correr. Ao chegar ao ponto de encontro, os responsáveis por cada fila devem identificar e contar as pessoas, verificando presenças ou comprovando ausências e informar o responsável por toda a evacuação.